



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL EDIFICIO CASA
CENTRAL USANDO ENERGY PLUS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL MECÁNICA

MACARENA DE JESÚS MUÑOZ NOVA

PROFESORA GUÍA:
MÓNICA ZAMORA ZAPATA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
REYNALDO CABEZAS CIFUENTES
WILLIAMS CALDERÓN MUÑOZ

SANTIAGO DE CHILE

2022

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL EDIFICIO CASA CENTRAL USANDO ENERGY PLUS

La motivación de este trabajo es aportar a promover el uso eficiente de la energía bajo un contexto de crisis climática y energética, en el caso de un edificio patrimonial como es el edificio de Casa Central. Este tipo de edificios tiene varias restricciones en cuanto a intervenciones constructivas, lo cual es un desafío para mejorar su eficiencia.

El objetivo general de este trabajo es simular y caracterizar el consumo energético del edificio. Los objetivos específicos son obtener la información necesaria para la simulación, modelar el consumo térmico y eléctrico del edificio en condiciones normales, realizar una caracterización de este consumo y proponer medidas para levantar información que sea útil para reducir la incertidumbre de la simulación. La metodología utilizada fue recopilar, filtrar e ingresar la información entregada por el arquitecto encargado de Casa Central al modelo. Para ciertos detalles críticos de la información que no se conocen o bien hay incertidumbre (tasa de infiltración de aire, porcentaje de zonas climatizadas con equipos tipo split y horarios de ocupación) se realizaron supuestos y se realizó un análisis de sensibilidad para saber cómo influyen estos parámetros.

Los resultados obtenidos para el caso base son que el consumo total al año es de $1591,5[MWh]$, lo cual en comparación a las cuentas de luz del año 2019 ($1399,6[MWh]$) tiene un error de un $13,7\%$. El mes con el mayor consumo es Julio ($166[MWh]$) y el mes con menor consumo es Febrero ($93[MWh]$). Para el perfil diario de consumo se obtuvo que el peak de consumo diario ocurre el mes de Julio a las 10:00[AM] y es de $646[kW]$. Del consumo total anual se obtuvo que un $43,7\%$ del consumo anual corresponde a aparatos, un $38,4\%$ a iluminación, un $14,1\%$ a calefacción y sólo un $3,9\%$ a refrigeración. Para el análisis de sensibilidad se varía la tasa de infiltración de aire del edificio, el porcentaje del HVAC y los horarios de ocupación. Para cada una de estas variaciones se muestran resultados de consumo y perfil diario. La variable más sensible es la tasa de infiltración ya que al aumentarla al doble, el consumo aumenta en un 18% .

A partir de los resultados obtenidos del caso base y del análisis de sensibilidad se concluye que falta información para validar la simulación energética y se propone como obtener o medir esta información para futuros trabajos que también puedan ahondar en evaluar medidas de eficiencia energética.

*A Claudia, Cristian, Rosario, Diego,
Soledad, Osvaldo y Ángela*

Gracias por todo

Agradecimientos

En primer lugar, quiero reiterar el agradecimiento a mi familia por siempre apoyarme a lo largo de toda mi vida, con mis sueños y proyectos, y por levantarme siempre que me caigo. A mis padres Claudia y Cristian, a mis hermanos Rosario y Diego, y a mis abuelos Soledad, Osvaldo y Ángela. También quiero agradecer a mis 3 pájaros ridículos, al perrito Aslan (Chuspiliberto) y a mi tortuga por alegrar mis días.

También quiero agradecer a la comisión de este trabajo. A la profe Mónica por la dedicación, paciencia y por resolver mis dudas cada vez que lo necesitaba. A Reynaldo por meterme la chispita de la eficiencia energética con su ramo y por compartir su conocimiento en el tema mientras desarrollaba este trabajo. Y por último, al profe Williams por darme la oportunidad de participar como ayudante del curso Mecánica de Fluidos durante tantos años.

A los trabajadores de Casa Central Felipe Urbina y Leonel Valderrama por entregar la información necesaria para este trabajo, y responder amablemente las dudas que iban surgiendo sobre dicha información. Sin ustedes no habría sido posible la realización de este trabajo.

También quiero agradecer a todos los amigos que hice en el camino: desde el Grupo 5 sección 1 de la inducción 2016 en Plan Común, pasando por los Electruchos en mi breve paso por Eléctrica, luego a mis amigos de las Juventudes Musulmanes en el Dimec y terminando la carrera a los cabros y cabras de la sala de memoristas del quinto piso de mecánica.

Una mención especial al grupo organizado Rollea Beauchef (al pre y al post pandemia) que me ha acompañado a lo largo de la carrera. Gracias por motivarme a hacer un deporte que me gusta y por enseñarme que la vida universitaria no sólo consiste en estudiar y embriagarse.

En este último párrafo quiero agradecer a dos personas especiales: A Matías Muñoz, quien estuvo siempre a mi lado desde primero medio hasta el día de hoy. Gracias por tantos momentos compartidos, por reírnos de nuestros profes trauma de la carrera y por repetir nuestras frases icónicas durante todos estos años. Y a Nicolás Molina, por hacer más llevaderos los tiempos pandémicos, por enseñarme cosas académicas y personales desde el 2019, y por ser el arcoiris que se forma cuando los tiempos son lluviosos.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Antecedentes básicos	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcances	3
2. Antecedentes	4
2.1. Trabajo similar en Universidad Politécnica de Valencia	4
2.1.1. Museo de Historia de Valencia	4
2.1.2. Colegio de Educación Infantil y Primaria Fabián y Fuero	5
2.2. Información recopilada de Casa Central	6
2.2.1. Distribución y usos de espacio del edificio	6
2.2.1.1. Aforos y superficies	7
2.2.1.2. Calendario de eventos	8
2.2.2. Potencia eléctrica instalada	8
2.2.3. Especificaciones técnicas de equipos de climatización	9
2.2.4. Coeficientes de transferencia de calor	11
2.2.5. Consumo eléctrico del edificio	11
2.2.6. Archivo Central	12
2.3. Rango de confort	12
2.4. Mediciones	13
2.4.1. Medición de infiltraciones en edificios	13
2.4.2. Medición de consumo durante el día	15
3. Metodología	16
3.1. Ingreso de información al modelo	16
3.1.1. Datos meteorológicos del año 2018	16
3.1.2. Geometría	19
3.1.2.1. Estructura	19
3.1.2.2. Ventanas equivalentes	21

3.1.3.	Actividades en cada zona	21
3.1.3.1.	Ocupancia	22
3.1.3.2.	Salones de eventos	22
3.1.3.3.	Horarios de ocupación	23
3.1.4.	Materiales de construcción	23
3.1.5.	Sistema de climatización	23
3.1.6.	Densidades de potencia de computación e iluminación	24
3.2.	Ajustes del modelo	25
3.2.1.	Porcentaje de aire acondicionado en el edificio	25
3.2.2.	Horarios de ocupación	26
4.	Resultados	27
4.1.	Primera iteración	27
4.2.	Caso base	28
4.2.1.	Consumo	28
4.2.1.1.	Comparación de consumo real con simulado	28
4.2.1.2.	Consumo por ítem mensual	29
4.2.1.3.	Perfil de consumo diario	32
4.2.2.	Ganancias	34
4.2.3.	Confort	36
4.2.3.1.	Confort mensual	36
4.2.3.2.	Confort en invierno y verano	40
4.3.	Análisis de sensibilidad	44
4.3.1.	Tasa de infiltración de aire	44
4.3.1.1.	Consumo mensual y anual	44
4.3.1.2.	Perfil diario	46
4.3.2.	Porcentaje de HVAC	48
4.3.2.1.	Consumo mensual y anual	48
4.3.2.2.	Perfil diario	49
4.3.3.	Horarios de ocupación	52
4.3.3.1.	Consumo mensual y anual	52
4.3.3.2.	Perfil diario	53
5.	Análisis y Discusión de Resultados	57
5.1.	Caso base	57
5.1.1.	Consumo	57
5.1.1.1.	Comparación de consumo real con simulado	57
5.1.1.2.	Consumo por ítem mensual	59
5.1.1.3.	Perfil de consumo diario	60
5.1.2.	Ganancias	60
5.1.3.	Confort	61
5.1.3.1.	Confort mensual	61

5.1.3.2.	Confort en invierno y verano	62
5.2.	Análisis de sensibilidad	63
5.2.1.	Tasa de infiltración de aire	63
5.2.1.1.	Consumo anual y mensual	63
5.2.1.2.	Perfil diario	64
5.2.2.	Porcentaje de HVAC	64
5.2.2.1.	Consumo anual y mensual	64
5.2.2.2.	Perfil diario	64
5.2.3.	Horarios de ocupación	65
5.2.3.1.	Consumo anual y mensual	65
5.2.3.2.	Perfil diario	65
6.	Conclusiones	66
	Bibliografía	68
	Anexos	70
A.	Gráficos de perfiles diarios	70
A.1.	Caso base	70
A.2.	Análisis de sensibilidad	71
A.2.1.	Tasa de infiltración de aire	71
A.2.2.	Porcentaje de HVAC	73
A.2.3.	Horarios de ocupación	75
B.	Gráficos de temperatura	77
B.1.	Temperaturas a lo largo del día en Enero, Abril, Julio y Octubre	77
B.2.	Temperaturas interiores del edificio sin HVAC variando infiltración de aire	77
C.	Proyecto de Norma Mexicana para alumbrado	78
D.	Horas de desconfort anuales por zona	80

Índice de Tablas

2.1.	Aforos y superficies de salones de eventos.	7
2.2.	Aforo de oficinas.	8
2.3.	Calendario de eventos por salón y mes del año 2016.	8
2.4.	Arranques eléctricos en Casa Central [3].	9
2.5.	EETT Chiller	10
2.6.	Especificaciones técnicas de los equipos tipo Fancoil.	10
2.7.	Especificaciones técnicas equipos aire acondicionado tipo split.	11
2.8.	Coeficientes U medidos en Casa Central [2].	11
3.1.	Ocupancias calculadas para salones de la Tabla 2.1.	22
3.2.	Zonas alimentadas por Chiller.	23
3.3.	Densidad de potencia en computación.	24
3.4.	Densidad de potencia en alumbrado.	24
4.1.	Temperatura del edificio sin sistema de climatización en Julio al variar la tasa de infiltración.	27
4.2.	Comparación de consumo anual simulado con consumo anual real dado por cuentas de luz.	29
4.3.	Consumos en calefacción y refrigeración anuales caso base.	31
4.4.	Meses representativos para las 4 estaciones del año.	33
4.5.	Comparación de ganancias en refrigeración y calefacción anual en la simulación.	35
4.6.	Tabla resumen de condiciones de confort.	36
4.7.	Temperaturas máximas en verano e invierno para cada caso.	44
4.8.	Variación del error absoluto y porcentual al variar tasa de infiltración.	46
4.9.	Variación del error absoluto y porcentual al variar porcentaje de HVAC	49
4.10.	Variación del error absoluto y porcentual al variar horario de ocupación	53
C.1.	Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA).	79

Índice de Ilustraciones

1.1.	Ejemplo de construcción de edificio en Design Builder [14].	2
2.1.	Fachada del Museo de Historia de Valencia [6].	4
2.2.	Fachada del Colegio de Educación Infantil y Primaria Fabián y Fuero [5].	5
2.3.	Distribución de los espacios en Casa Central, Parte 1 (Gentileza Felipe Urbina).	6
2.4.	Distribución de los espacios en Casa Central, Parte 2 (Gentileza Felipe Urbina).	7
2.5.	Distribución porcentual de usos de potencias de los 3 arranques eléctricos de Casa Central (ver Tabla 2.4).	9
2.6.	Gráfico de costo energético mensual durante años 2018, 2019, 2020 y 2021.	12
2.7.	Condiciones de temperatura y humedad que define la ASHRAE como rango de confort [9].	13
2.8.	Esquema del método de presurización del ventilador en una envolvente térmica.	14
2.9.	Analizador de redes [12].	15
3.1.	Radiación solar mensual promedio durante año 2018.	17
3.2.	Velocidad del viento mensual promedio durante año 2018.	17
3.3.	Dirección del viento mensual promedio durante año 2018 (donde 180° es la dirección sur.	18
3.4.	Presión atmosférica mensual promedio durante año 2018.	18
3.5.	Temperatura exterior mensual promedio durante año 2018.	19
3.6.	Plano de primer piso importado a programa, con el triángulo de la izquierda apuntando hacia el norte.	19
3.7.	Creación de bloque que representa el primer piso.	20
3.8.	Creación de particiones para delimitar zonas.	20
3.9.	Geometría final.	21
3.10.	Porcentaje de superficie del edificio acondicionada por Chiller.	24
3.11.	Porcentaje de superficie climatizado por Chiller, aire acondicionado y no climatizado.	26
4.1.	Temperatura interior mensual promedio en el interior del edificio sin HVAC y con una tasa de infiltración de aire de 3[ren/h]	28
4.2.	Comparación de resultados de simulación con consumos mensuales del año 2019.	29
4.3.	Distribución de consumo simulado por ítem.	30
4.4.	Porcentaje de consumo simulado por ítem.	30
4.5.	Consumo simulado por ítem anual	31
4.6.	Comparación de consumo en refrigeración y calefacción mensual en la simulación.	31
4.7.	Comparación en consumos de iluminación y aparatos mensual en la simulación.	32

4.8.	Esquema de cálculo para el perfil diario.	33
4.9.	Perfil de consumo total diario para los 4 meses representativos.	34
4.10.	Perfil de consumo desagregado por ítem para Julio.	34
4.11.	Comparación de ganancias en refrigeración y calefacción mensual en la simulación.	35
4.12.	Comparación de ganancias en otros ítem en la simulación.	35
4.13.	Comparación de consumo real con ganancias totales.	36
4.14.	Temperaturas interiores y exteriores promedio mensuales en la simulación.	37
4.15.	Horas de discomfort mensuales en la simulación.	37
4.16.	Porcentaje de horas de discomfort con respecto a las horas laborales totales.	38
4.17.	Horas de discomfort por zona para Piso 1.	39
4.18.	Horas de discomfort por zona para Entrepiso 1.	39
4.19.	Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, edificio completo	40
4.20.	Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, edificio completo	41
4.21.	Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, UOH	41
4.22.	Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, UOH	42
4.23.	Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, Comedor del Rector	42
4.24.	Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, Comedor del Rector	43
4.25.	Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, Patio Andrés Bello	43
4.26.	Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, Patio Andrés Bello	44
4.27.	Comparación de consumo simulado variando tasa de infiltración con cuentas de luz del año 2019.	45
4.28.	Consumo eléctrico en calefacción mensual variando tasa de infiltración de aire.	45
4.29.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Julio).	46
4.30.	Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Enero.	47
4.31.	Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Abril.	47
4.32.	Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Julio.	48
4.33.	Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Octubre.	48
4.34.	Comparación de consumo simulado variando porcentaje de aire acondicionado con cuentas de luz del año 2019.	49
4.35.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Julio).	50
4.36.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Enero.	50
4.37.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Abril.	51
4.38.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Julio.	51
4.39.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Octubre.	52
4.40.	Comparación de consumo simulado variando horarios de ocupación con cuentas de luz del año 2019.	53
4.41.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Julio).	54
4.42.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Enero.	54
4.43.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Abril.	55
4.44.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Julio.	55

4.45.	Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Octubre.	56
5.1.	Ejemplo de cuenta de electricidad de Casa Central.	58
A.1.	Perfil de consumo por ítem para Enero.	70
A.2.	Perfil de consumo por ítem para Abril.	70
A.3.	Perfil de consumo por ítem para Julio.	71
A.4.	Perfil de consumo por ítem para Octubre.	71
A.5.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Enero). .	72
A.6.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Abril). .	72
A.7.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Julio). .	73
A.8.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Octubre).	73
A.9.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Enero).	74
A.10.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Abril).	74
A.11.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Julio).	75
A.12.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Octubre).	75
A.13.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Enero).	76
A.14.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Abril).	76
A.15.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Julio).	76
A.16.	Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Octubre).	77
B.1.	Datos de temperatura promedio por hora durante meses de Enero, Abril, Julio y Octubre 2018.	77
B.2.	Temperatura interior promedio mensual del edificio sin HVAC variando la tasa de infiltración de aire.	78
D.1.	Horas de desconfort por zona para Piso 1.	80
D.2.	Horas de desconfort por zona para Entrepiso 1.	81
D.3.	Horas de desconfort por zona para Piso 2.	81
D.4.	Horas de desconfort por zona para Entrepiso 2.	82

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Actualmente el edificio de Casa Central de la Universidad de Chile se encuentra en condiciones que no permiten un uso de la energía eficiente. Por otro lado, la Casa Central es un edificio patrimonial, por lo cual tiene ciertas restricciones constructivas, en particular, en la fachada del edificio donde no se pueden realizar modificaciones.

Si se toman medidas, el uso eficiente de la energía permite consumir menos, lo cual se traduce en menor emisión de contaminantes producidos por la generación energética y en un ahorro monetario para la Universidad.

1.2. Antecedentes básicos

Para evaluar el consumo energético de edificios, se han desarrollado programas computacionales que simulan el consumo energético y el desempeño térmico de estos edificios. Uno de estos programas es Energy Plus, el cual fue desarrollado el año 2004 por el Departamento de Energía de Estados Unidos. Este programa es gratuito y de código abierto. Reyes [1] hizo una comparación de múltiples programas computacionales que modelan térmicamente un edificio y concluyó que Design Builder (con Energy Plus como motor de simulación) es el mejor programa en cuanto a interfaz gráfica, ingreso de información, resultados entregados e indicaciones sobre cómo usar el programa.

Este programa permite construir la geometría de la construcción que se quiere modelar. Un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 1.1.

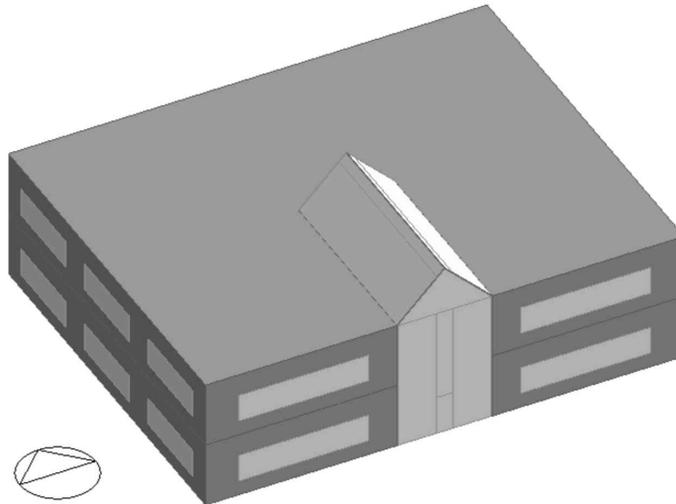


Figura 1.1: Ejemplo de construcción de edificio en Design Builder [14].

El programa también permite ingresar otro tipo de datos como lo son modelos de actividad, de materiales de construcción, ventanas y puertas, iluminación y sistema de climatización.

Luego de ingresar la información, el programa simula los consumos y muestra la información de confort, consumo, ganancias y ventilación de forma diaria y mensual. Estos datos se pueden graficar y exportar a formato CSV.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es simular y caracterizar el consumo energético en la Casa Central de la Universidad de Chile, y recoger necesidades de información para reducir las incertezas de la simulación.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Obtener información necesaria para modelar el consumo energético de Casa Central.
2. Modelar térmica y eléctricamente el edificio Casa Central en condiciones normales en Energy Plus.
3. Caracterizar el consumo energético de Casa Central.
4. Proponer medidas para levantar información sobre el consumo para mejorar las futuras simulaciones.

1.4. Alcances

1. Se modelará térmicamente el edificio Casa Central en condiciones normales (antes del 2020).
2. Se detectarán necesidades de información requerida para eventualmente mejorar la simulación y caracterización del consumo energético en trabajos futuros.

Capítulo 2

Antecedentes

En esta sección se mostrará un trabajo similar hecho en 2 edificios en España, la información recopilada sobre Casa Central, el rango de confort establecido según la ASHRAE y cómo medir infiltraciones en el edificio y el consumo en tiempo real durante el día.

2.1. Trabajo similar en Universidad Politécnica de Valencia

En la facultad de arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia se hizo una tesis de doctorado [4] con simulaciones energéticas en EnergyPlus y se evaluaron medidas de eficiencia energética en 2 edificios patrimoniales: en el Museo de Historia de Valencia y en un colegio.

2.1.1. Museo de Historia de Valencia

El Museo de Historia de Valencia es un edificio patrimonial de España construido en 1850 que se muestra en la Figura 2.1. Este caso es interesante ya que la ciudad de Valencia tiene una latitud de 39° , y la ciudad de Santiago en la cual se encuentra ubicada la Casa Central tiene una latitud de -33° . Al tener ambas ciudades latitudes similares se puede inferir que tienen condiciones climáticas similares.



Figura 2.1: Fachada del Museo de Historia de Valencia [6].

En este caso se simularon 2 medidas de eficiencia energética por separado. La primera medida implementada fue cambiar la aislación en la zona de mayor superficie. Se reemplazó fibra de vidrio con un coeficiente de transferencia de calor $U = 0,04 \left[\frac{W}{m^2k} \right]$ de espesor desconocido por una capa de 15[cm] de poliestireno expandido EPS con $U = 0,029 \left[\frac{W}{m^2k} \right]$. Esto fue realizado sin reemplazar la estructura del muro.

Los resultados de implementar esta medida fueron reducir la demanda de refrigeración en un 5%, la demanda de calefacción en un 14%, un 3% las horas de discomfort y un 5% el consumo energético total.

La segunda medida implementada fue añadir una capa de EPS de 5[cm] a los muros exteriores y se reduce en un 2% la demanda de refrigeración, un 8% la demanda de calefacción, un 1% las horas de discomfort y un 3% el consumo energético total.

2.1.2. Colegio de Educación Infantil y Primaria Fabián y Fuero

El CEIP es un colegio ubicado en el Villar del Arzobispo en la localidad de La Serranía en España. Consiste en 2 edificios, uno inaugurado en 1927 y otro en 1984 [5]. La fachada del edificio se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2: Fachada del Colegio de Educación Infantil y Primaria Fabián y Fuero [5].

En este caso se simularon 3 medidas de eficiencia energética por separado y luego se midió el efecto de implementarlas todas juntas.

La primera medida implementada fue cambiar los vidrios de todas las ventanas del edificio, los cuales tenían un $U = 5,778 \left[\frac{W}{m^2k} \right]$ a unos vidrios triples con $U = 1,757 \left[\frac{W}{m^2k} \right]$, lo cual redujo la demanda de calefacción un 55%, las horas de discomfort en un 14% y un 55% en consumo energético.

La segunda medida implementada fue poner una capa de 3[cm] de lana mineral a los muros exteriores del lugar, lo cual aumenta su coeficiente de transferencia de calor a $U = 0,764 \left[\frac{W}{m^2k} \right]$. Esto

redujo la demanda de calefacción en 6 %, las horas de discomfort en un 2 % y el consumo energético del edificio en un 5 %.

La tercera medida implementada fue poner una capa de aislamiento de panel de caucho de 5[cm] en la solera del lugar, lo cual redujo la demanda de calefacción en un 7 %, el consumo energético en un 7 % y las horas de discomfort en un 1 %.

Al implementar las tres medidas de eficiencia energética anteriores juntas se obtuvo la reducción de la demanda de calefacción en un 60 %, las horas de discomfort en un 14 % y el consumo energético total en un 60 %.

2.2. Información recopilada de Casa Central

2.2.1. Distribución y usos de espacio del edificio

En las Figuras 2.3 y 2.4 se muestran los planos de Casa Central. La Casa Central consiste en 2 pisos, 2 entrepisos y torreones. A la izquierda de los planos hay una simbología que indica los nombres de las zonas y a partir de eso se puede inferir para qué se ocupan.

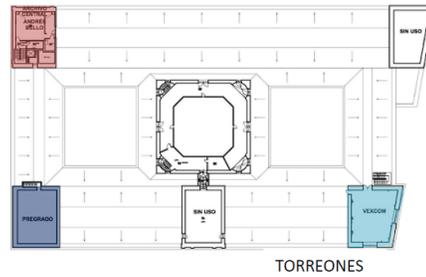
Ejemplos de uso de estas zonas son: servicios públicos, salón de eventos, bodega, librería, archivo, oficinas y zonas de circulación como pasillos y escaleras.



Figura 2.3: Distribución de los espacios en Casa Central, Parte 1 (Gentileza Felipe Urbina).

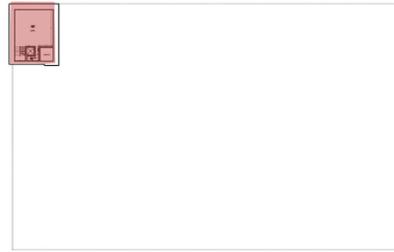
Organismos:

VEXCOM:
Archivo Central:
Pregrado:

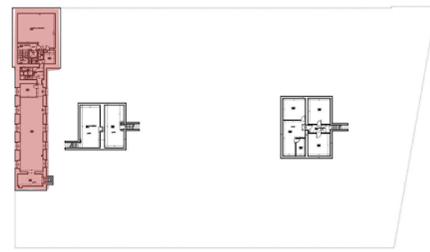


Superficie útil total casa central: 8.561 m²

Superficie útil total archivo central: 1.323 m².
Esto corresponde a un 15% del total de casa central.



ZÓCALO



SUBTERRÁNEO

Figura 2.4: Distribución de los espacios en Casa Central, Parte 2 (Gentileza Felipe Urbina).

2.2.1.1. Aforos y superficies

Se tiene la información de aforos y superficies para algunas oficinas y para los salones de eventos. Los aforos y superficies de los salones de eventos se pueden ver en la Tabla 2.1 y los de las oficinas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1: Aforos y superficies de salones de eventos.

Lugar	Superficie [m ²]	Aforo [personas]
Salón de honor	602	320
Valentín Letelier	221	54
Comedor Protocolar	90	100
Eloísa Díaz	216	150
Ignacio Domeyko	164	100
Torreón Sur Poniente	71	30
Sala 220	144	80
Enrique Sazié	187	90
Amanda Labarca	68	30

Tabla 2.2: Aforo de oficinas.

Piso	Lugar	Área [m^2]	Aforo [personas]
1	Oficina	45	11
1	Oficina	33	8
1	Oficina partes	20	3
Entrepiso 1	Oficina	45	8
2	Oficina	45	5
2	Oficina	33	5

2.2.1.2. Calendario de eventos

Para algunos de los salones mencionados en la Tabla 2.1 existe la información del número de eventos, la cual se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Calendario de eventos por salón y mes del año 2016.

Salón/Mes	ENE	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	Total por Salón
Eloisa Díaz	7	14	15	13	10	4	13	11	25	27	10	149
Enrique Sazié	0	4	4	7	8	6	15	24	25	24	24	141
Sala 220	13	6	10	13	11	9	12	7	9	7	9	106
Ignacio Domeyko	9	3	6	5	3	3	0	3	15	9	8	64
Valentin Letelier	4	5	5	5	5	5	4	5	6	4	0	48
Salón de Honor	9	7	7	10	6	7	6	8	16	25	21	122
Amanda Labarca	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
Total por Mes	42	39	47	53	43	34	51	58	96	97	72	

2.2.2. Potencia eléctrica instalada

Los sistemas energéticos del edificio son aquellos que consumen energía eléctrica. Administrativamente, el edificio se divide en 3 arranques eléctricos que se facturan por separado. Estos sistemas se caracterizan en la Tabla 2.4. Se debe notar que no se contabilizan fuentes de energía como gas natural o licuado ya que estos sistemas no existen en Casa Central.

Los datos de la Tabla 2.4 se pueden visualizar mejor en la Figura 2.5.

Tabla 2.4: Arranques eléctricos en Casa Central [3].

Sistema	Potencia [kW]				Total
	Fuerza	Alumbrado	Climatización	Computación	
1	50	350	0	0	400
2	6,55	48,42	122,91	36,55	214,43
3	0	7,78	12	0	19,78
Total	56,55	406,2	134,91	36,55	634,21

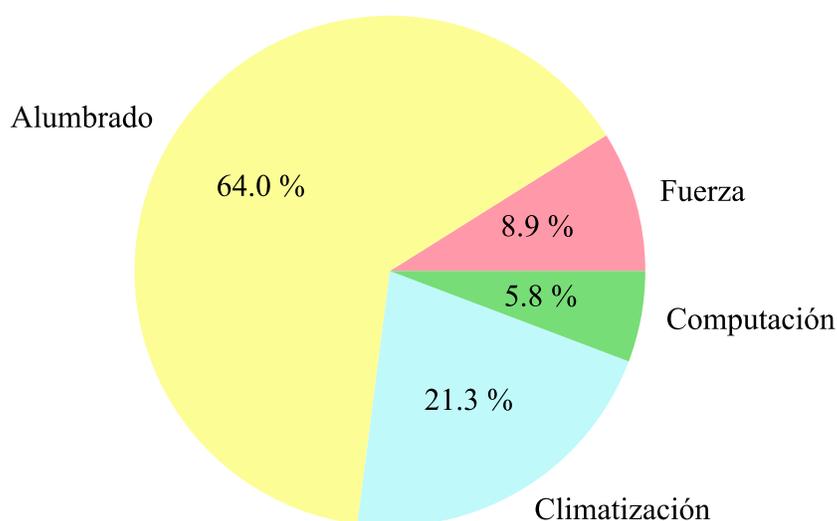


Figura 2.5: Distribución porcentual de usos de potencias de los 3 arranques eléctricos de Casa Central (ver Tabla 2.4).

2.2.3. Especificaciones técnicas de equipos de climatización

Los datos de los equipos de climatización existentes fueron extraídos de fichas técnicas entregadas por el encargado de mantenimiento de equipos de Casa Central, Leonel Valderrama.

El sistema de climatización en Casa Central consiste en tres partes principales:

- Un Chiller en el techo, el cual es un equipo que enfría o calienta agua y la entrega a los fancoils. Este Chiller posee dos intercambiadores de calor independientes que le permiten producir agua caliente y fría al mismo tiempo de forma independiente. Las especificaciones técnicas de este equipo se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: EETT Chiller

Sigla de la unidad	NECS-CQ/B/S 0704
Peso [kg]	2130
Potencia frigorífica [kW]	170,3
Potencia térmica [kW]	184,5
Potencia recuperación de calor [kW]	226,3
Potencia absorbida en plena carga por la unidad [kW]	88,9
Amperaje en plena carga de la unidad [A]	152,6
Tipo de fluido refrigerante	R410A
COP refrigeración	1,92
COP calefacción	2,08

Este Chiller se ubica en el entretecho del edificio y alimenta ciertas zonas del edificio mediante fancoils. Las zonas climatizadas por Chiller son: el comedor del rector, dos oficinas, el Museo Gabriela Mistral, la Sala de Reuniones, el Salón de Honor y dos salones más.

- Fancoils en las partes indicadas en el párrafo anterior. Estos equipos con el agua fría suministrada por el Chiller enfrían o calientan el aire, según el requerimiento. Las especificaciones técnicas de estos equipos se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Especificaciones técnicas de los equipos tipo Fancoil.

Caudal aire (m^3/h)	374
Frío total (kW)	1,62
Frío sensible (kW)	1,13
Calor total (kW)	1,28
Cantidad	38

- Las partes de la construcción que no están conectadas con el sistema del chiller y los fancoils están dotadas de equipos de aire acondicionado de tipo split individuales, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 2.7. En los planos entregados **no** se indica dónde están ubicados estos equipos.

Tabla 2.7: Especificaciones técnicas equipos aire acondicionado tipo split.

Marca	Clark
Modelo	SPL-CMU-09K1
Capacidad de refrigeración nominal [W]	2615
Capacidad de calefacción nominal [W]	2576
COP frío	3,23
COP calor	3,63

2.2.4. Coeficientes de transferencia de calor

En el año 2013 una empresa externa calculó los coeficientes de transferencia de calor denominados con la letra U para cada tipo de pared a través de un software térmico llamado Elite. Los valores de estos coeficientes U se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Coeficientes U medidos en Casa Central [2].

Tipo de muro	U [$W/m^2\text{°C}$]
Cubierta galvanizada	0,6
Cubierta galvanizada, losa de hormigón y cielo suspendido	0,53
Muro exterior OSO, NNO y ESE de ladrillo	0,51
Muro exterior OSO, NNW y ESE de ladrillo	0,6
Muro exterior OSO de ladrillo	0,85
Muro exterior ENE de ladrillo	0,43
Partición ladrillo-hormigón	0,39
Partición ladrillo-lado climatizado	0,81
Vidrio termopanel	1,98
Vidrio simple	5,07

2.2.5. Consumo eléctrico del edificio

El consumo eléctrico de este edificio en general (el cual viene de las boletas emitidas por Enel), considerando los 3 sistemas de energía mencionados en la Tabla 2.4 se grafica en la Figura 2.6.

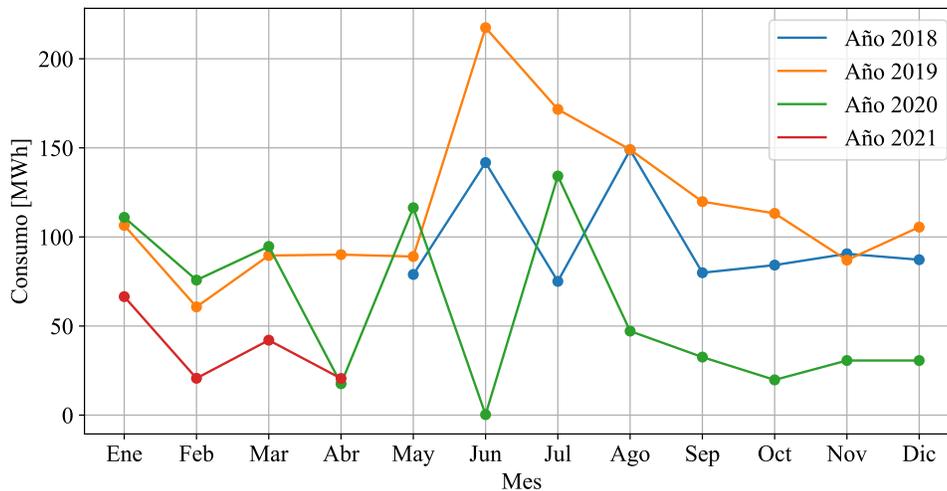


Figura 2.6: Gráfico de costo energético mensual durante años 2018, 2019, 2020 y 2021.

Los datos que se tienen para el gráfico de la Figura 2.6 podrían no ser concordantes con la realidad ya que en el gráfico se observa que el consumo en el año 2019 el consumo de Octubre, Noviembre y Diciembre es mayor al de Enero a Mayo de ese mismo año, lo cual es imposible debido a que en ese año a partir de Octubre no hubo eventos en el edificio debido al contexto social del país. Además, según el gráfico el consumo del año 2020 es mayor al del año 2021 siendo que el año 2020 fue el momento crítico de la crisis sanitaria.

A lo anterior se suma que los datos corresponden a una sola boleta de las 3 que paga Casa Central, por lo que el consumo mostrado en el gráfico de la Figura 2.6 está subestimado en comparación al consumo real.

Para este trabajo se intentó conseguir las boletas faltantes, pero debido a la antigüedad de éstas, a la fecha aún no se obtiene esta información.

2.2.6. Archivo Central

El Archivo Central es el núcleo patrimonial de la Universidad de Chile [15], donde se almacenan diversos tipos de colecciones de objetos antiguos que requieren condiciones especiales de presión y temperatura para ser conservados.

Estas condiciones **no** se conocen, por lo que **no** fueron ingresadas al programa.

2.3. Rango de confort

Para que un espacio tenga condiciones que favorezcan la comodidad de los usuarios, debe tener ciertas condiciones de humedad y temperatura. Según la ASHRAE Standard 55-2004 [9] el rango

de confort es el que se muestra en la Figura 2.7.

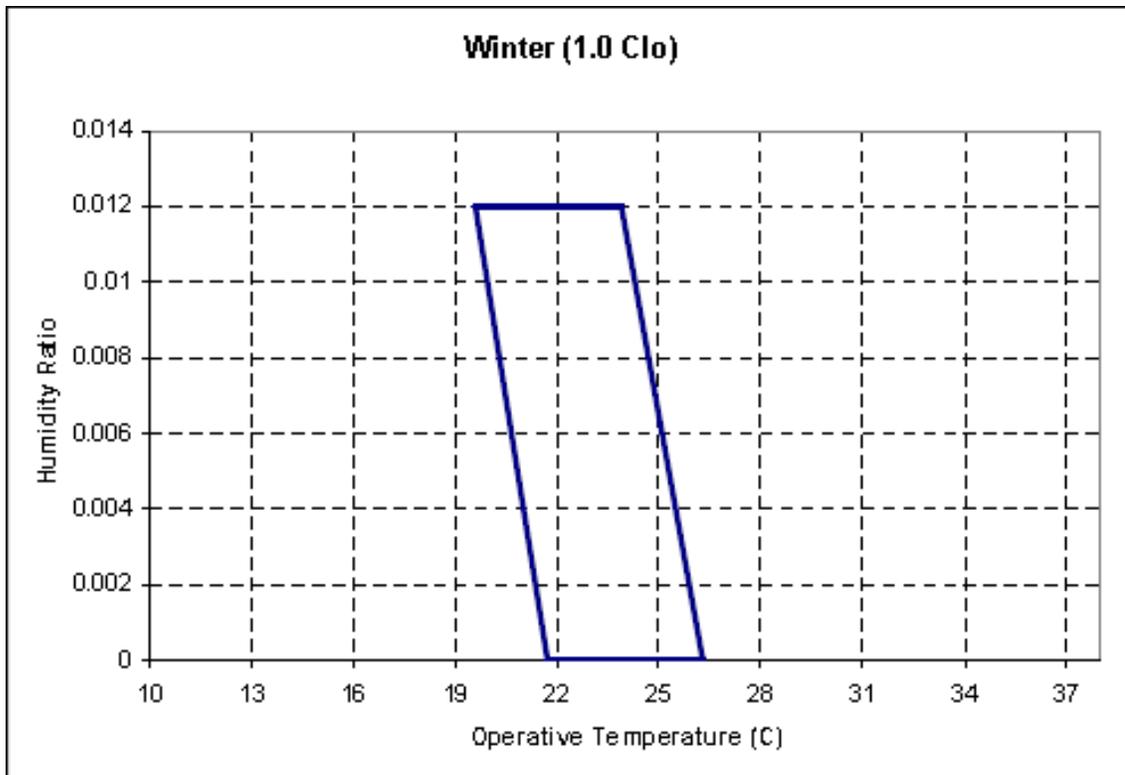


Figura 2.7: Condiciones de temperatura y humedad que define la ASHRAE como rango de confort [9].

2.4. Mediciones

2.4.1. Medición de infiltraciones en edificios

La infiltración de aire en un edificio son las corrientes de aire que se producen a través de huecos en la envolvente del edificio [8]. Esta se mide a través de la tasa de infiltración en renovaciones de aire en 1 hora (ren/h).

Gilliot [8] y otros autores realizaron un estudio de medidas de infiltración de aire en construcciones antiguas. Para ello, midieron las infiltraciones de aire en una casa construida el año 2007 con métodos constructivos del año 1930 con el método de presurización del ventilador o “prueba de la puerta del soplador”.

Molina [13] describe este proceso en su trabajo de título según las normas NCh3295 Y ASTM E-779-03. Este proceso consiste en inducir una diferencia de presión más alta de lo usual entre el interior y el exterior de la envolvente del edificio a través de un ventilador, como se ilustra en la Figura 2.8.

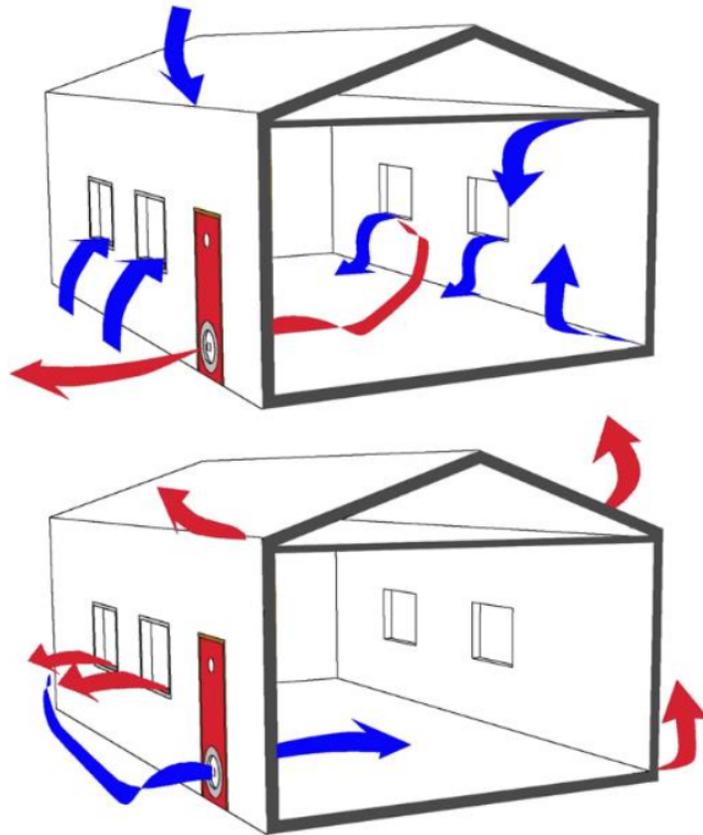


Figura 2.8: Esquema del método de presurización del ventilador en una envolvente térmica.

Se suele utilizar un valor de $50[Pa]$ porque es lo suficientemente bajo como para alcanzarlo con un ventilador estándar y lo suficientemente alto como para lograr resultados independientemente de las condiciones ambientales.

Para realizar esta medición se necesita:

- Ventilador
- Lona para la puerta (ver Figura 2.8)
- Dispositivo para medir flujo de aire
- Dispositivo para medir presión

Con el dispositivo para medir presión y el dispositivo para medir flujo de aire se impone una diferencia de presión de $50[Pa]$ y a partir del dispositivo de flujo de aire se calcula cuántas veces se renueva del aire en una hora.

2.4.2. Medición de consumo durante el día

Para medir el consumo durante el día, o medir el perfil de consumo diario como se le llamará más adelante, se utiliza un instrumento llamado analizador de redes, el cual se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9: Analizador de redes [12].

Según una empresa fabricante de estos equipos, Osark Electronics [12], con este dispositivo se pueden registrar datos de potencia eléctrica en tiempo real, incluso conectando este dispositivo a un computador.

Capítulo 3

Metodología

Los pasos a seguir en este trabajo son los siguientes:

1. Recopilación de información sobre Casa Central mediante documentos facilitados por el arquitecto encargado de Casa Central e información de consumo entregada por la administración de Casa Central a través de las cuentas de Enel.
2. Ingreso de información recopilada a Energy Plus a través de la interfaz gráfica DesignBuilder y simulación de comportamiento energético mediante gráficos entregados por Energy Plus.
3. Ajustes del caso base para simular consumos realistas y validar la simulación mediante la información de las tarifas eléctricas (ver Figura 2.6) del punto 1.
4. Caracterización del consumo energético a partir de resultados obtenidos.
5. Estudiar efectos de la incertidumbre de la simulación mediante análisis de sensibilidad.
6. Recomendar cómo medir en el futuro las variables que faltan para reducir incertezas de la simulación. Además, con esto se podrían evaluar con mejor detalle los efectos de medidas de eficiencia energética.

La recopilación de antecedentes sobre Casa Central se ve reflejada en la sección 2.2. El ingreso de información recopilada se describirá a continuación.

3.1. Ingreso de información al modelo

3.1.1. Datos meteorológicos del año 2018

El software Energy Plus tiene un sitio web donde se pueden descargar archivos climáticos [7]. Los datos ingresados mensuales se grafican en las Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5.

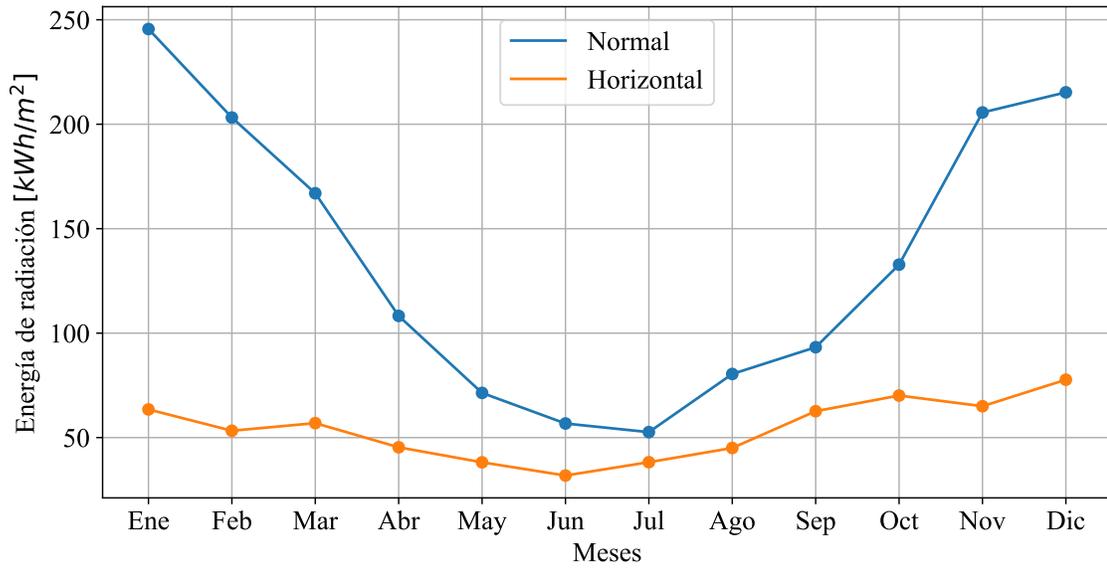


Figura 3.1: Radiación solar mensual promedio durante año 2018.

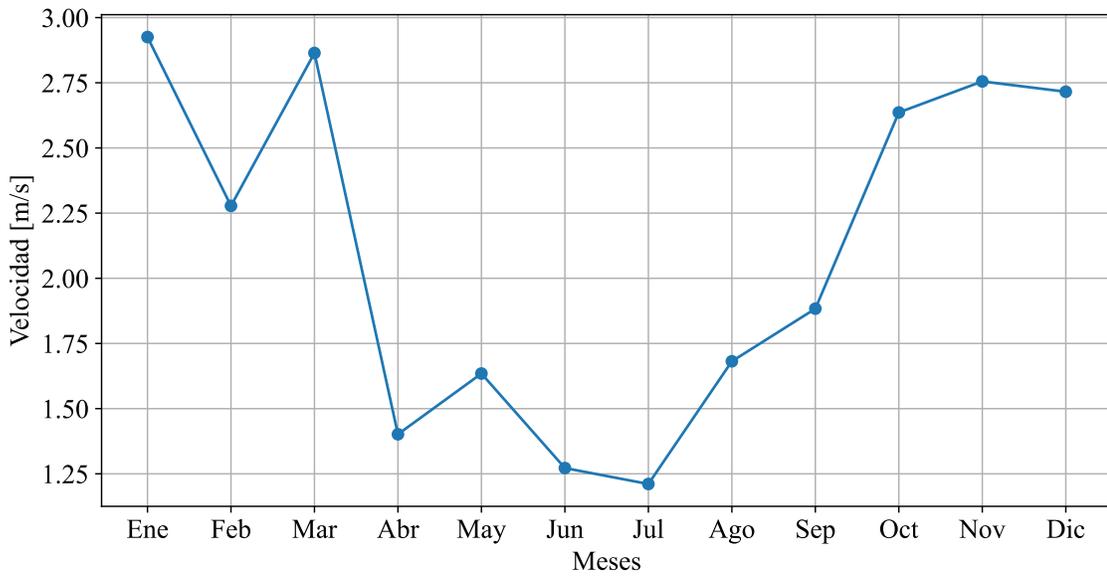


Figura 3.2: Velocidad del viento mensual promedio durante año 2018.

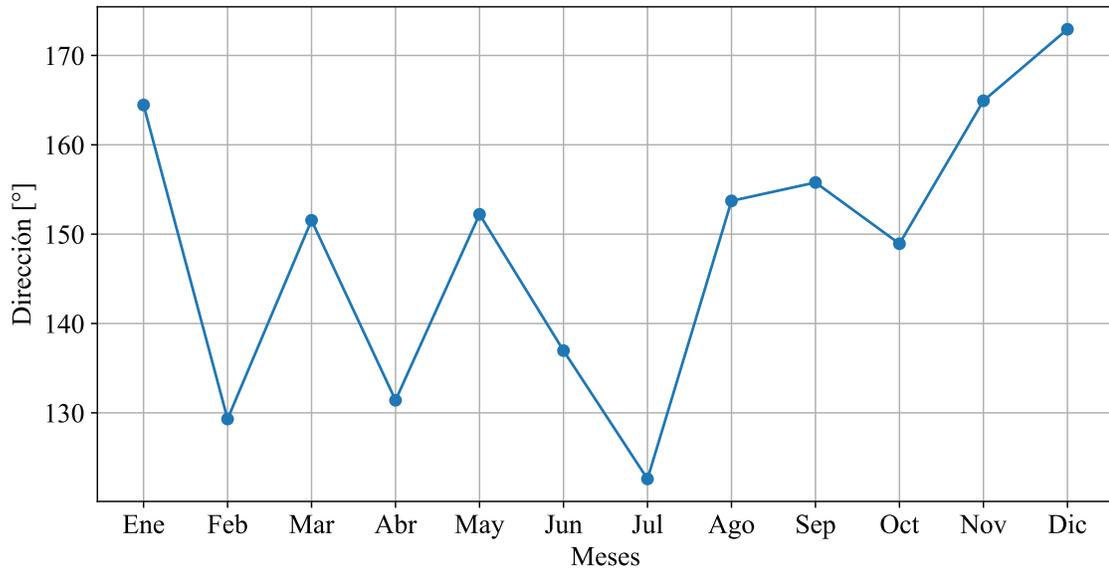


Figura 3.3: Dirección del viento mensual promedio durante año 2018 (donde 180° es la dirección sur).

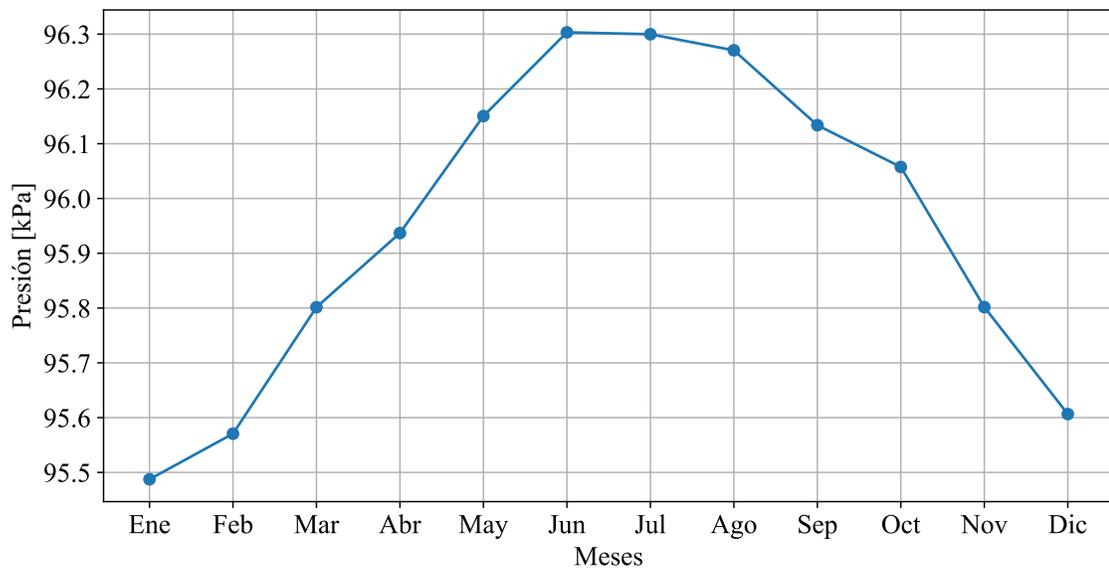


Figura 3.4: Presión atmosférica mensual promedio durante año 2018.

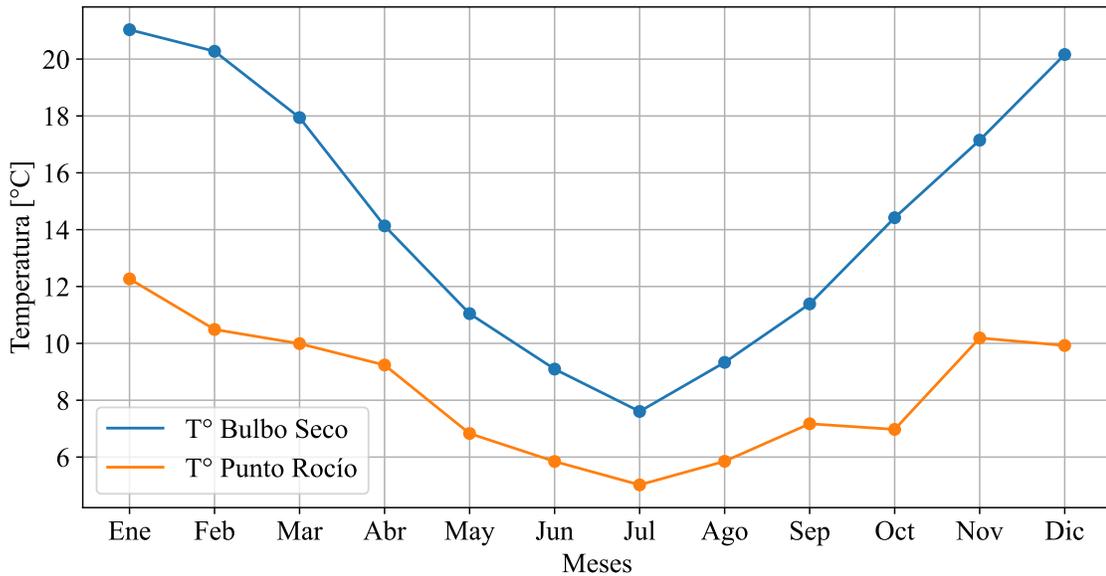


Figura 3.5: Temperatura exterior mensual promedio durante año 2018.

3.1.2. Geometría

3.1.2.1. Estructura

El ingreso de la geometría de Casa Central tiene 3 pasos para cada piso:

1. Primero se importa el plano de dicho piso en formato DXF al programa. Se acomoda según la dirección del norte indicada por el triángulo de la izquierda de la Figura 3.6, donde se puede ver el plano importado para el primer piso.

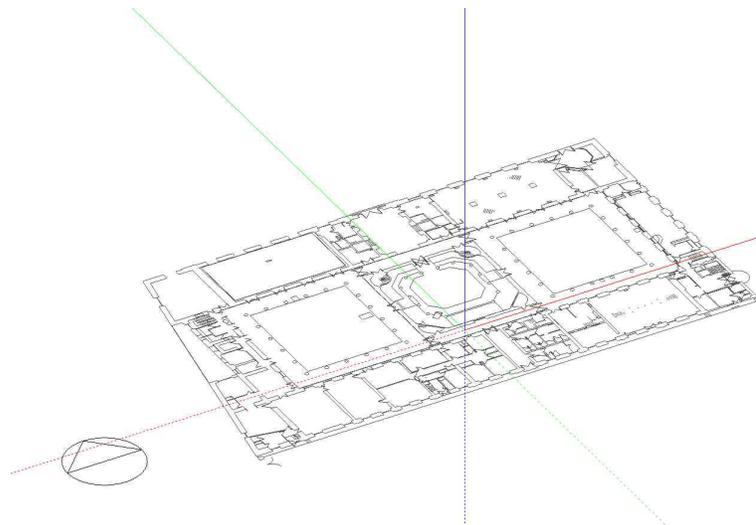


Figura 3.6: Plano de primer piso importado a programa, con el triángulo de la izquierda apuntando hacia el norte.

2. Luego de importar el plano, se crea un bloque bordeando el contorno del plano que representa

el primer piso. Esto se puede ver en la Figura 3.7.

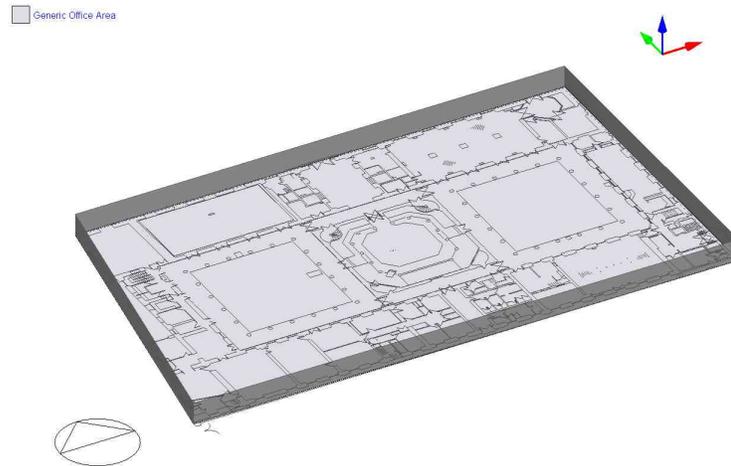


Figura 3.7: Creación de bloque que representa el primer piso.

3. Por último se dibujan las particiones que limitan las zonas de cada piso usando como guía el plano. Esto se puede ver en la Figura 3.8

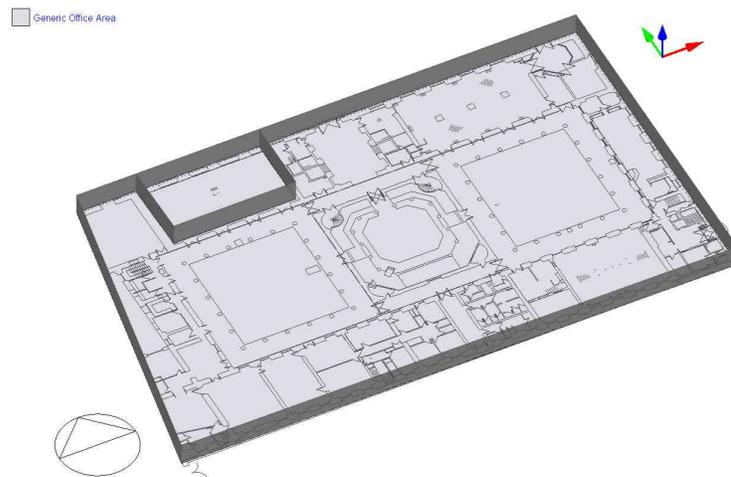


Figura 3.8: Creación de particiones para delimitar zonas.

Siguiendo estos pasos para cada uno de los pisos, entrepisos, entretechos y techos, se crea la geometría final de Casa Central, la cual se puede apreciar en la Figura 3.9.

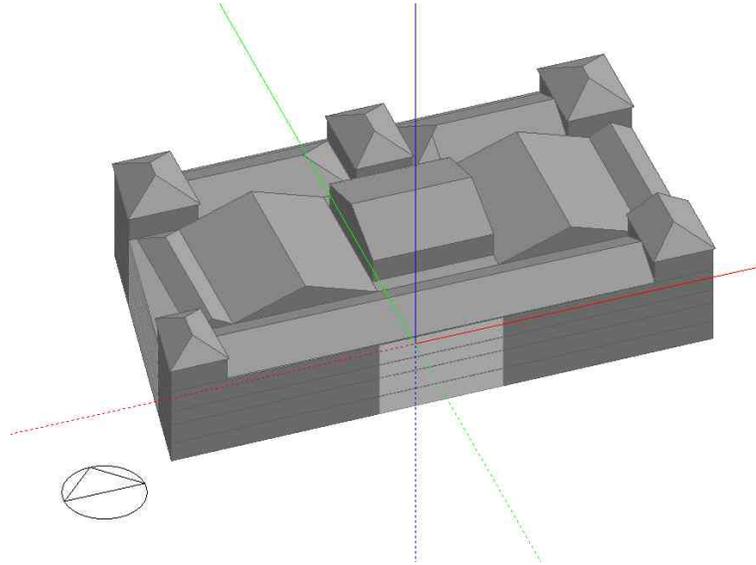


Figura 3.9: Geometría final.

3.1.2.2. Ventanas equivalentes

El edificio contiene varias ventanas, lo cual dificulta la simulación. Para simplificar el modelo se estableció el concepto de ventana equivalente, la cual es una ventana que tiene un área equivalente a la suma de las ventanas de una fachada. Este supuesto es válido por el principio de superposición, ya que el calor es aditivo.

3.1.3. Actividades en cada zona

A cada zona asignada en cada piso (ver asignación de zonas en Figura 3.8) se le asigna un nombre y un modelo predeterminado de actividades incluido en el software. Estos modelos contienen parámetros de ocupación, calor metabólico según actividad realizada, horarios de ocupación y uso de computadoras e impresoras.

En el modelo se ocupan los siguientes modelos de actividades:

1. Cocina
2. Camarines
3. Baños públicos
4. Cafetería
5. Sala de conferencias
6. Sala de equipos eléctricos
7. Almacén

8. Auditorio
9. Biblioteca
10. Museo
11. Oficina
12. Pasillos y escaleras
13. Zona desocupada

3.1.3.1. Ocupancia

Para cada tipo de modelo de actividades, existe una ocupancia (cantidad de personas por m^2) por defecto. Sin embargo, para las zonas donde se conoce el aforo y la superficie (ver Tabla 2.1) se puede calcular la ocupancia (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Ocupancias calculadas para salones de la Tabla 2.1.

Ubicación	Zona	Volumen [m^3]
Piso 1	Comedor rector	61,55
Piso 1	Oficinas 16	31,71
Piso 1	Museo Gabriela Mistral	774,84
Piso 1	Sala de Reuniones	400,14
Todos los pisos	Salón de honor	6671,37
Entrepiso 1	Oficina gabinete rectoría	226,62
Piso 2+Entrepiso 2	Salón	705,75
Piso 2	Salón Valentín Letelier	583,30

Para el modelo de actividades de oficina también existe una ocupancia por defecto, pero al tener la información de la Tabla 2.2 se puede obtener un dato de la ocupancia más preciso. A partir de estos datos se calcula que la ocupancia promedio de las oficinas es de $0,18$ [personas/ m^2].

3.1.3.2. Salones de eventos

Se dispone del calendario de eventos de los salones del año 2016, el cual se muestra en la Tabla 2.3. Con esta información se obtiene que hay en promedio 8 eventos al mes en cada salón, es decir, 2 eventos a la semana. Este supuesto es válido ya que la distribución de eventos según el calendario es uniforme para todos los salones de eventos.

Para el modelo, se supone que cada evento dura 2 horas, por lo que se establece en el programa que hay eventos en todos los salones de la Tabla 2.1 los martes y jueves de 12:00 a 14:00 horas, y que el resto del tiempo no se ocupan los salones.

3.1.3.3. Horarios de ocupación

Según lo informado por personal del edificio, las oficinas tienen un horario de 9:00 a 18:15 horas de lunes a jueves y de 9:00 a 16:00 horas los viernes.

3.1.4. Materiales de construcción

Al terminar de hacer esto para cada piso, se ingresan los materiales para muros exteriores, particiones internas y ventanas dados en la Tabla 2.8. Para los materiales que no están en dicha tabla, como el material de las puertas, del techo o de los pisos internos, se dejan los materiales dados por defecto por el programa.

Cabe destacar que algunos materiales de la Tabla 2.8 son muy gruesos para ser particiones internas, lo cual deja zonas con un volumen muy pequeño para los cálculos de Energy Plus, por lo que para las particiones internas se supone un material con igual coeficiente de transferencia de calor U pero con distinto espesor.

Para la mayoría del techo de Casa Central se asumió el material dado por defecto por el programa. Sin embargo, para los techos de los patios se utilizó un material diferente. Al buscar techos transparentes en internet la mayoría de los resultados obtenidos eran de techos hechos con policarbonato, por lo que se seleccionó el techo de policarbonato incluido en el programa.

3.1.5. Sistema de climatización

Como se mencionó en Antecedentes, el Chiller sólo alimenta algunas salas. En el modelo se estableció aquello. En la Tabla 3.2 se observan dichas zonas y qué volumen tienen. En la Figura 3.10 se representa el porcentaje de la superficie del edificio que es climatizada por el Chiller.

Tabla 3.2: Zonas alimentadas por Chiller.

Ubicación	Zona	Volumen [m^3]
Piso 1	Comedor rector	61,55
Piso 1	Oficinas 16	31,71
Piso 1	Museo Gabriela Mistral	774,84
Piso 1	Sala de Reuniones	400,14
Todos los pisos	Salón de honor	6671,37
Entrepiso 1	Oficina gabinete rectoría	226,62
Piso 2+Entrepiso 2	Salón	705,75
Piso 2	Salón Valentín Letelier	583,30

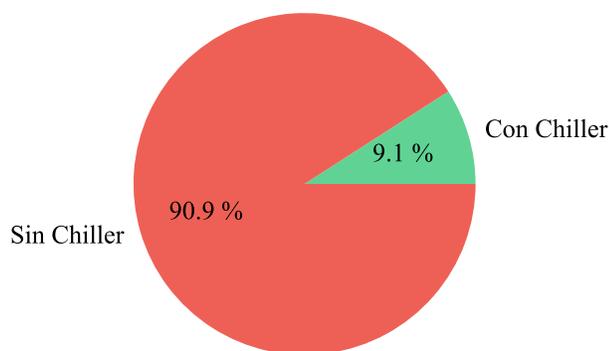


Figura 3.10: Porcentaje de superficie del edificio acondicionada por Chiller.

Como se puede ver en el gráfico de la Figura 3.10, sólo un 9,1 % de la superficie del edificio es climatizada por Chiller y un 90,9 % no lo está. Dentro de este último porcentaje, existe una porción del edificio que está climatizada por aire acondicionado, la cual no se sabe cuánto es. Por esta razón, en la sección 3.2.1 se habla de cómo se ajusta este parámetro para obtener un consumo similar al dado por las cuentas de luz graficadas en la Figura 2.6.

3.1.6. Densidades de potencia de computación e iluminación

A partir de los datos de la Tabla 2.4 se calculan las densidades de potencia para ingresarlas al modelo. En la Tabla 3.3 se realiza el cálculo de la densidad de potencia de computación suponiendo que todas las oficinas tienen 20[m²] de superficie. En la Tabla 3.4 se calcula la densidad de potencia del alumbrado.

Tabla 3.3: Densidad de potencia en computación.

Superficie oficina [m²]	20
Número de oficinas	44
Superficie total en oficinas [m²]	880
Potencia instalada en computación [kW]	36,55
Densidad de potencia [W/m²]	41,53

Tabla 3.4: Densidad de potencia en alumbrado.

Superficie de construcción [m²]	11658
Potencia instalada en alumbrado [kW]	406,2
Densidad de potencia [W/m²]	34,84

3.2. Ajustes del modelo

Para lograr el objetivo general de este trabajo (ver sección 1.3.1) se deben obtener resultados similares de consumo energético a los dados por las cuentas de electricidad (ver Figura 2.6). Al simular por primera vez el modelo con los parámetros ingresados según la sección 3.1, el consumo eléctrico mensual simulado resultaba ser mucho mayor al consumo dado por las cuentas de luz.

Esto ocurre porque el modelo posee incertidumbres, es decir, variables que no se conocen con exactitud. A partir de estas variables se puede ajustar el consumo para ajustar la simulación a las cuentas de luz. Las tres principales incertidumbres que se estudiarán son: la tasa de infiltración de aire, el porcentaje de aire acondicionado en el edificio (en salones y oficinas) y los horarios de ocupación.

También cabe destacar que como los datos de cuentas de luz corresponden a una de 3 boletas de Casa Central, se realizó el supuesto de que el consumo del gráfico de la Figura 2.6 corresponde a 1/3 del consumo real. Esta también es una fuente de incertidumbre, por lo que se recomienda facturar de forma ordenada para poder reducir esta incertidumbre.

3.2.1. Porcentaje de aire acondicionado en el edificio

De acuerdo con el gráfico de la Figura 3.10 sólo un 9,1 % de la superficie está climatizado con Chiller, por lo cual queda un 90,9 % de la superficie que no está climatizada por Chiller.

Parte de este 90,9 % está climatizado por aire acondicionado (equipo descrito en la Tabla 2.7), pero en la información entregada por los encargados de Casa Central no está especificado que zonas tienen aire acondicionado, por lo cual se realiza el supuesto de que sólo las oficinas y salones de eventos que no están climatizados por Chiller tienen un equipo de aire acondicionado.

Con este supuesto se tiene el porcentaje de superficie climatizado por aire acondicionado dado por el gráfico de la Figura 3.11.

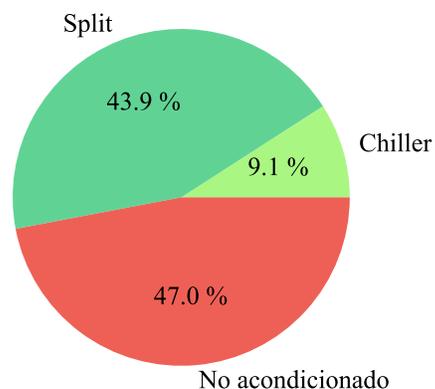


Figura 3.11: Porcentaje de superficie climatizado por Chiller, aire acondicionado y no climatizado.

3.2.2. Horarios de ocupación

Como se dijo en la sección de Antecedentes, el horario de oficina es de lunes a jueves de 9:00 a 18:15 horas y viernes de 9:00 a 16:00 horas. Lo anterior no es válido durante el mes de Febrero ya que la Universidad de Chile no funciona durante este periodo por lo que, a priori, no hay ocupación este mes. Sin embargo, al ver la Figura 2.6 se observa que la ocupación en Febrero no difiere tanto con la de Marzo. Esto ocurre ya que algunos funcionarios toman vacaciones en Febrero y otros en Marzo.

Por esta razón se realiza el supuesto de que en Febrero la Universidad se ocupa 2 semanas y en Marzo también se ocupa 2 semanas.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Primera iteración

La tasa de infiltración de aire es un parámetro difícil de calcular, por lo cual se hizo una estimación simulando el consumo del edificio sin sistema de climatización y variando las infiltraciones de aire. Intuitivamente, un edificio antiguo en invierno sin sistema de calefacción tiene una temperatura cercana a los $15^{\circ}C$, por lo cual se simula ajustando la tasa de infiltración de aire hasta obtener que en Julio la temperatura es cercana a $15^{\circ}C$.

En la Tabla 4.1 se observa la disminución de la temperatura interior del edificio en Julio al aumentar la tasa de infiltración.

Tabla 4.1: Temperatura del edificio sin sistema de climatización en Julio al variar la tasa de infiltración.

Tasa de infiltración [ren/h]	Temperatura del edificio en Julio [$^{\circ}C$]
1	18,6
1,5	17,2
2	16,3
2,5	15,7
3	15,3

Según el criterio antes mencionado, el valor de la infiltración de aire es de $3[ren/h]$. Este valor está dentro de lo esperable, ya que Gillott [8] en su estudio sobre infiltraciones de aire en edificios patrimoniales menciona que los valores de infiltración medidos en las distintas fases de remodelación de su edificio patrimonial se encuentran entre las $4,52[ren/h]$ y las $14,85[ren/h]$, por lo que $3[ren/h]$ es un valor un poco menor al valor del edificio medido en este estudio.

En la Figura 4.1 se grafican las temperaturas interiores mensuales promedio para la tasa de infiltración escogida. Cabe destacar que uno de los supuestos que se tomó fue que la tasa de infiltración

se mantiene constante durante todo el año, lo cual podría no ser así.

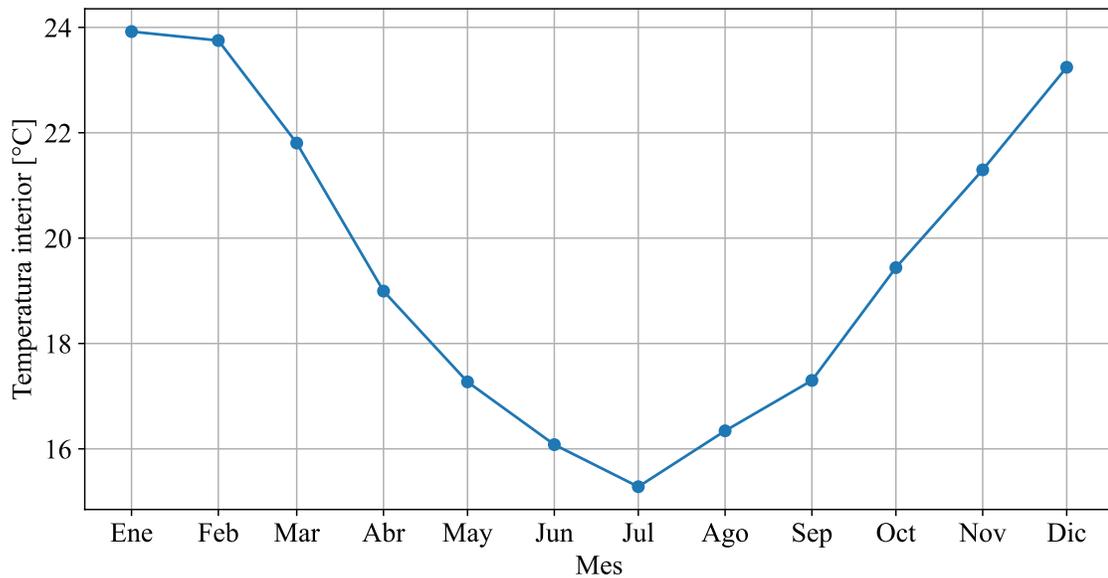


Figura 4.1: Temperatura interior mensual promedio en el interior del edificio sin HVAC y con una tasa de infiltración de aire de 3[ren/h]

Para la comparación de resultados con las cuentas de luz (ver Figura 2.6) se toman los datos del año 2019, ya que están los datos para todos los meses y además fue un año en condiciones normales.

4.2. Caso base

4.2.1. Consumo

4.2.1.1. Comparación de consumo real con simulado

Se comparan los datos del año 2019 del gráfico de la Figura 2.6 multiplicados por 3 por la razón mencionada anteriormente con los datos del consumo mensual simulado (con los ajustes del modelo incluidos). Los resultados se pueden observar en el gráfico de la Figura 4.2.

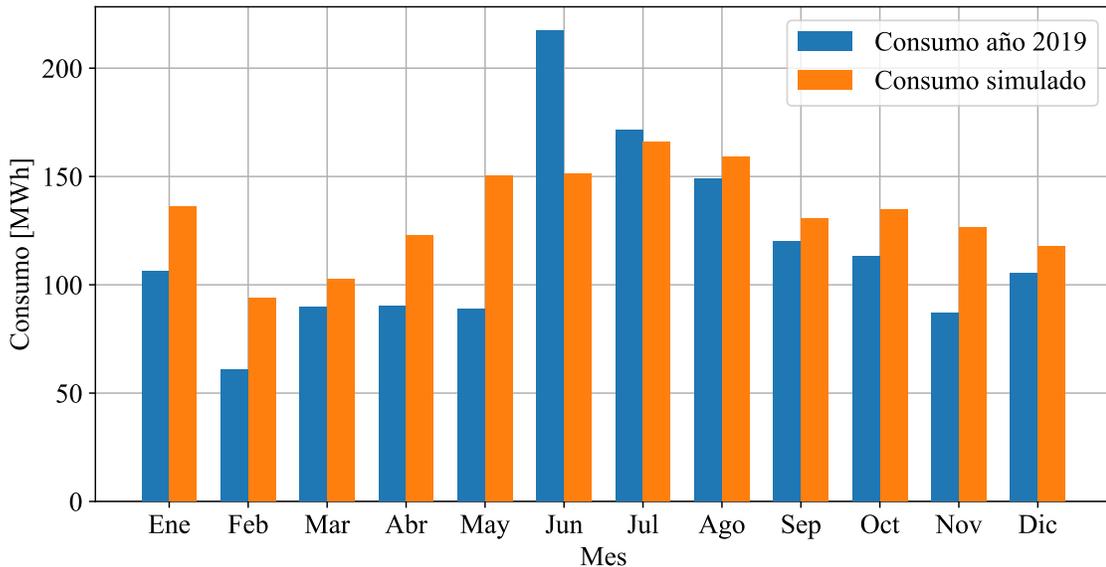


Figura 4.2: Comparación de resultados de simulación con consumos mensuales del año 2019.

Como se puede ver en la Figura 4.2, el consumo simulado difiere con respecto al dado por las cuentas de luz. Se calculó el consumo total anual simulado y se comparó con el de las cuentas de luz. En la Tabla 4.2 se observan los resultados de esta comparación.

Tabla 4.2: Comparación de consumo anual simulado con consumo anual real dado por cuentas de luz.

Consumo real [MWh]	1399,6
Consumo simulado [MWh]	1591,5
Error absoluto [MWh]	-191,9
Error porcentual [%]	13,7

4.2.1.2. Consumo por ítem mensual

En la Figura 4.3 se grafica cómo el consumo simulado se distribuye en aparatos, iluminación, calefacción y refrigeración. En la Figura 4.4 se grafican porcentualmente los datos del gráfico 4.3. En la Figura 4.5 se grafica lo mismo pero de forma anual.

En la Figura 4.6 se compara el consumo de calefacción y refrigeración a lo largo del año y en la Tabla 4.3 se muestran los consumos anuales de refrigeración y calefacción. En la Figura 4.7 se grafica el consumo de aparatos e iluminación a lo largo del año.

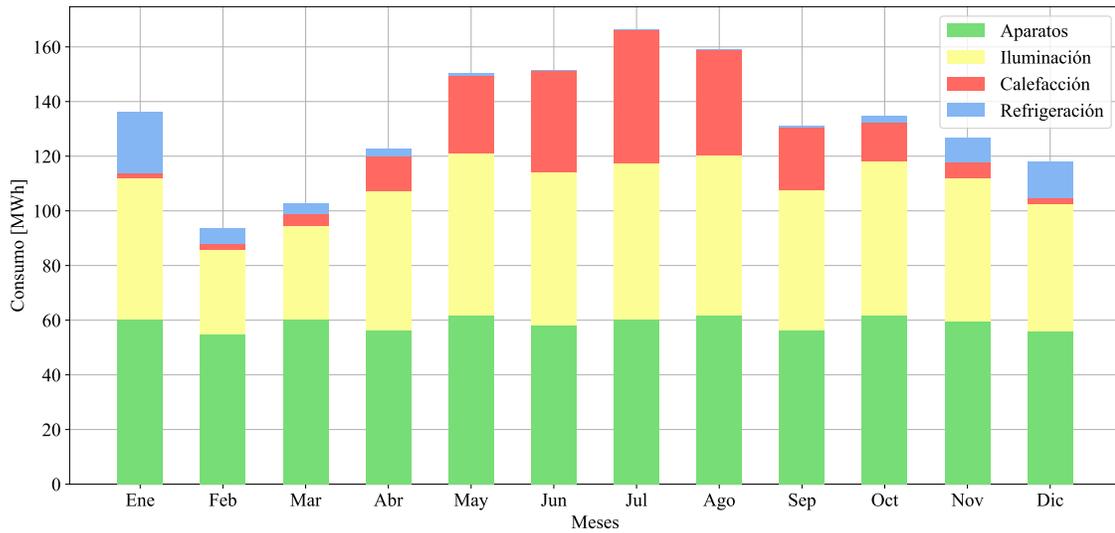


Figura 4.3: Distribución de consumo simulado por ítem.

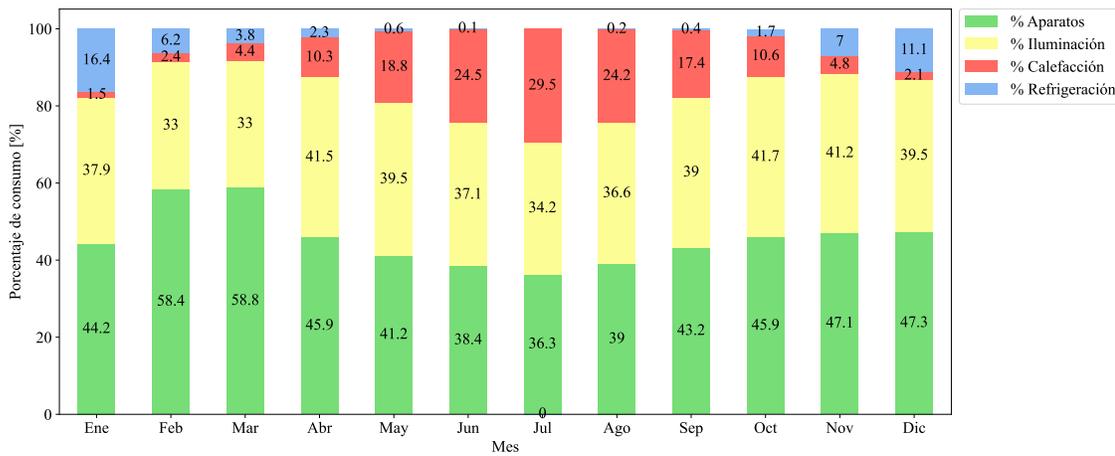


Figura 4.4: Porcentaje de consumo simulado por ítem.

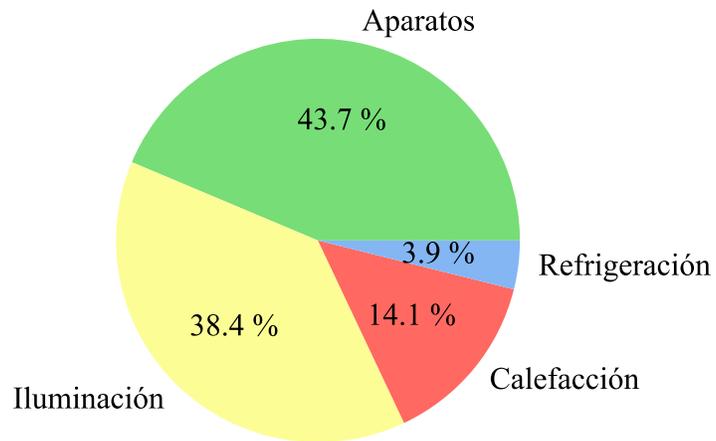


Figura 4.5: Consumo simulado por ítem anual

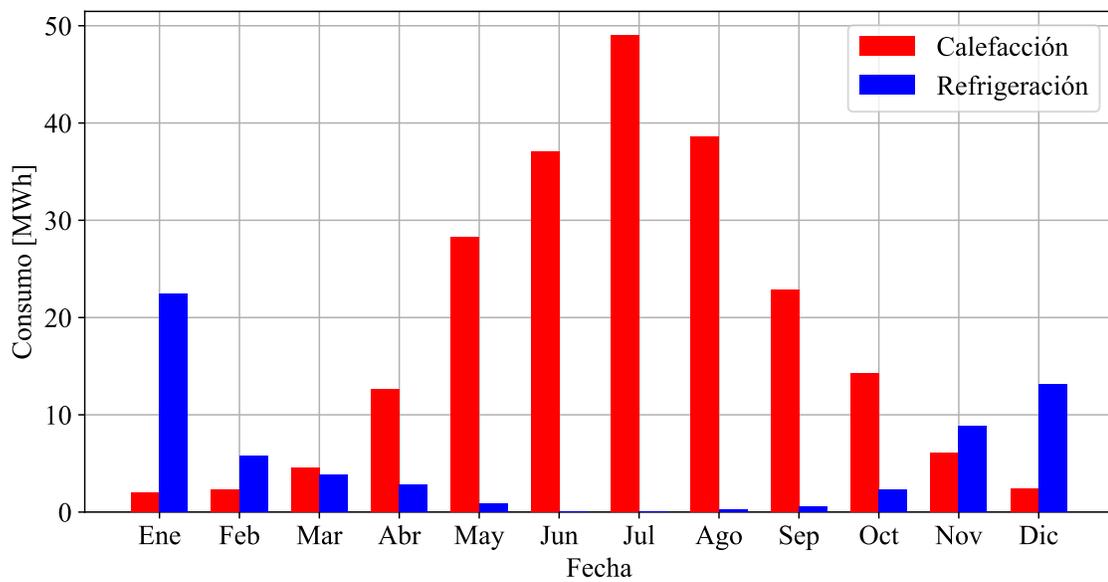


Figura 4.6: Comparación de consumo en refrigeración y calefacción mensual en la simulación.

Tabla 4.3: Consumos en calefacción y refrigeración anuales caso base.

Calefacción [MWh]	219,9
Refrigeración [MWh]	61

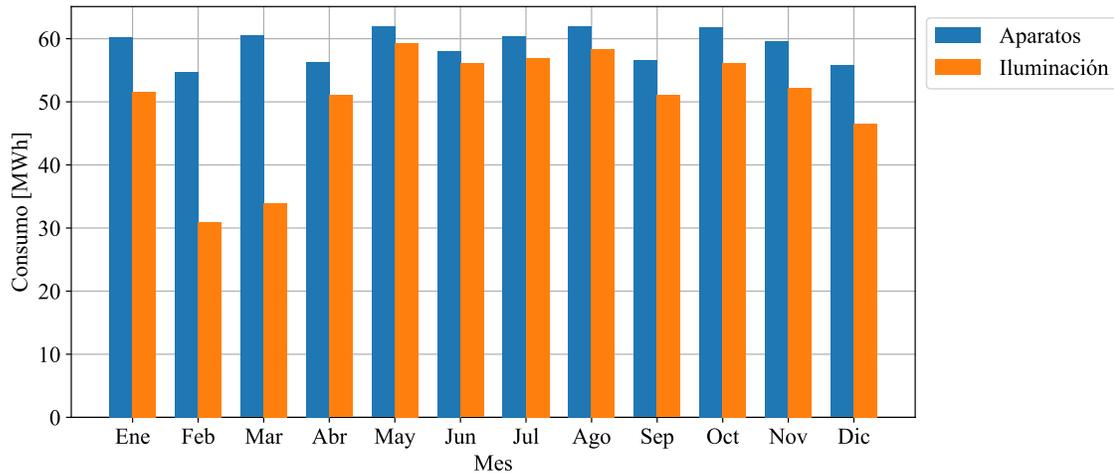


Figura 4.7: Comparación en consumos de iluminación y aparatos mensual en la simulación.

4.2.1.3. Perfil de consumo diario

Se crea un perfil de consumo diario por cada mes realizando una simulación por cada mes, la cual entrega como resultado el consumo por ítem para cada día y hora del mes. Se exportan los datos en formato CSV y se procesan mediante Python.

Al tener los resultados de cada día y hora del mes, se promedian los resultados por hora, es decir, se promedian los consumos del 2 de julio a la 1:00, 3 de julio a la 1:00, 4 de julio a la 1:00, y así sucesivamente, obteniéndose un promedio del consumo a cierta hora durante todos los días del mes estudiado.

Este promedio se calcula sólo con los días que no corresponden a fin de semana, ya que estos días no existe una ocupación normal de los espacios, por lo que estos días en general hay un menor consumo, por lo que contribuirían a bajar el perfil de consumo diario semanal.

En la Figura 4.8 se esquematiza lo dicho anteriormente.

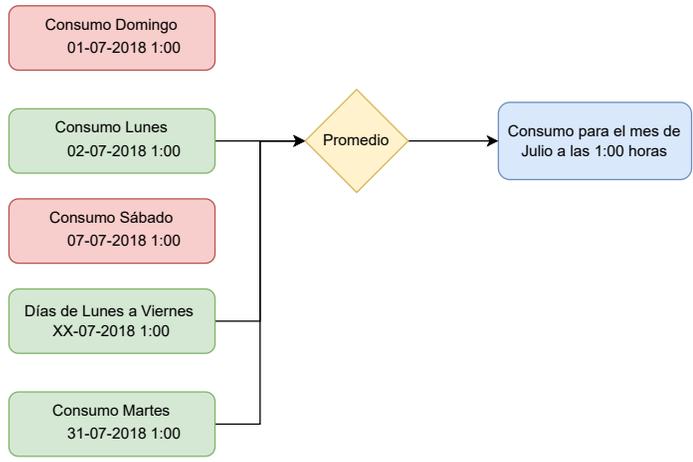


Figura 4.8: Esquema de cálculo para el perfil diario.

En este trabajo sólo se mostrarán meses representativos de cada estación, los cuales se indican en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Meses representativos para las 4 estaciones del año.

Estación	Mes
Verano	Enero
Otoño	Abril
Invierno	Julio
Primavera	Octubre

En los gráficos de perfil diario de este trabajo se marca el rango de 18 a 23 horas ya que ese rango se considera horario punta para los cobros de electricidad, es decir, la tarifa eléctrica en ese rango horario es más alta.

Marcar este rango horario sirve para en el futuro proponer medidas de eficiencia energética que reduzcan los consumos diarios en ese rango horario.

Los consumos totales para los 4 meses de la Tabla 4.4 se muestran en el gráfico de la Figura 4.9.

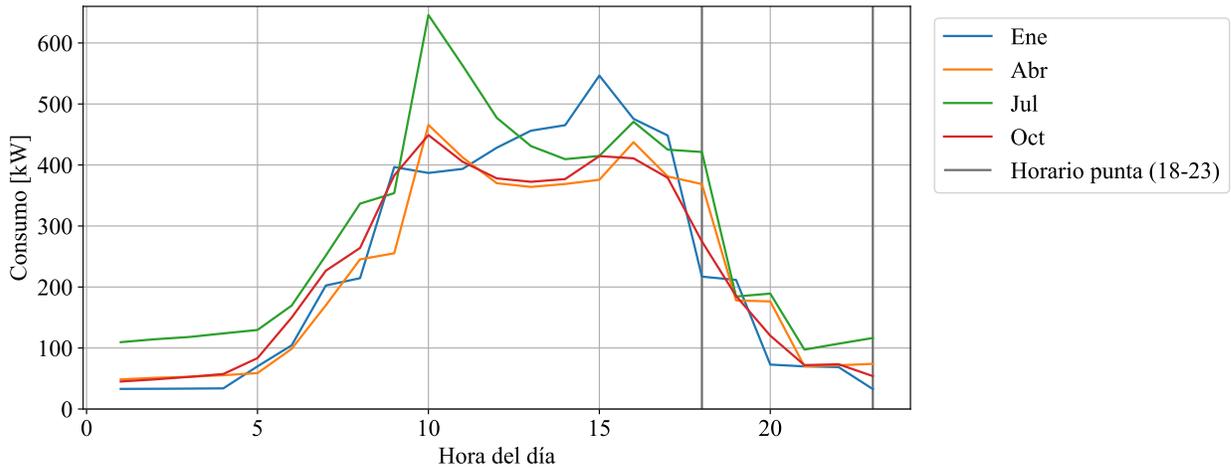


Figura 4.9: Perfil de consumo total diario para los 4 meses representativos.

En cuanto a los perfiles de consumo por ítem de cada mes, estos se grafican en el Anexo A.1. En esta sección se muestra el perfil de Julio (ver Figura 4.10), ya que será discutido en la sección de análisis y discusión.

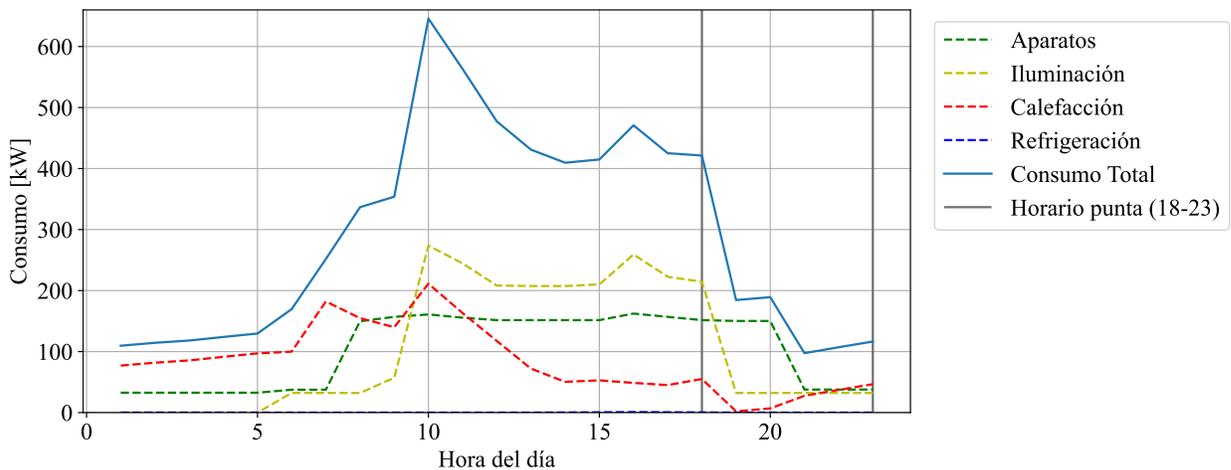


Figura 4.10: Perfil de consumo desagregado por ítem para Julio.

4.2.2. Ganancias

Las ganancias térmicas en el modelo hacen referencia al calor generado o extraído por los equipos, las ventanas, las personas, la iluminación, etc. A diferencia del consumo que hace referencia a la electricidad consumida, la cual no es igual a la ganancia ya que los equipos poseen una eficiencia menor al 100%.

En la Figura 4.11 se comparan las ganancias de calefacción y refrigeración a lo largo del año y en la Tabla 4.5 se comparan estas mismas ganancias anualmente. En la Figura 4.12 se grafican otro tipo de ganancias mensuales a lo largo del año.

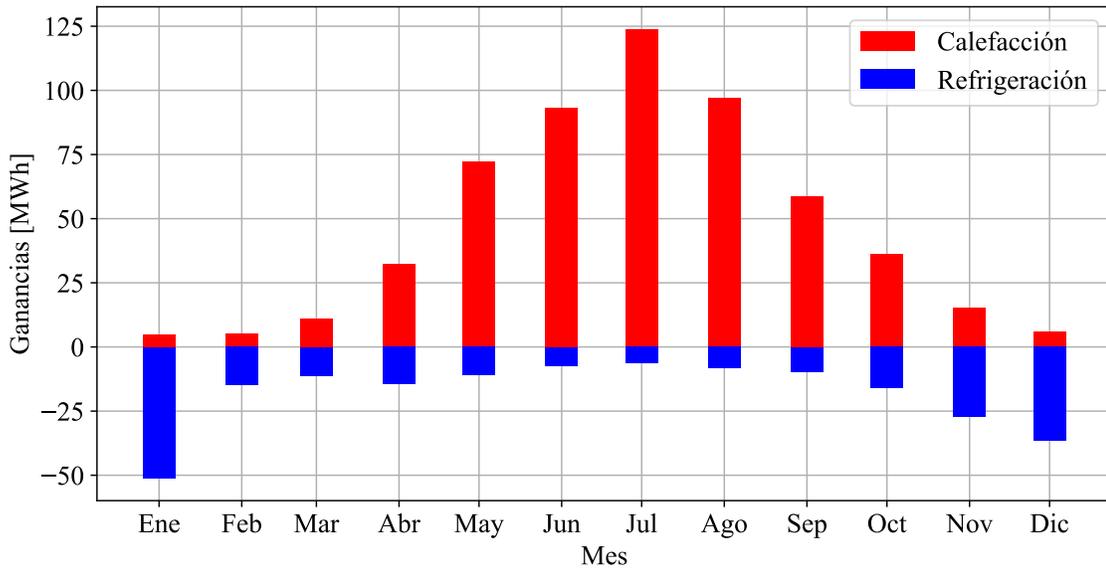


Figura 4.11: Comparación de ganancias en refrigeración y calefacción mensual en la simulación.

Tabla 4.5: Comparación de ganancias en refrigeración y calefacción anual en la simulación.

Calefacción [MWh]	555,8
Refrigeración [MWh]	-214,4

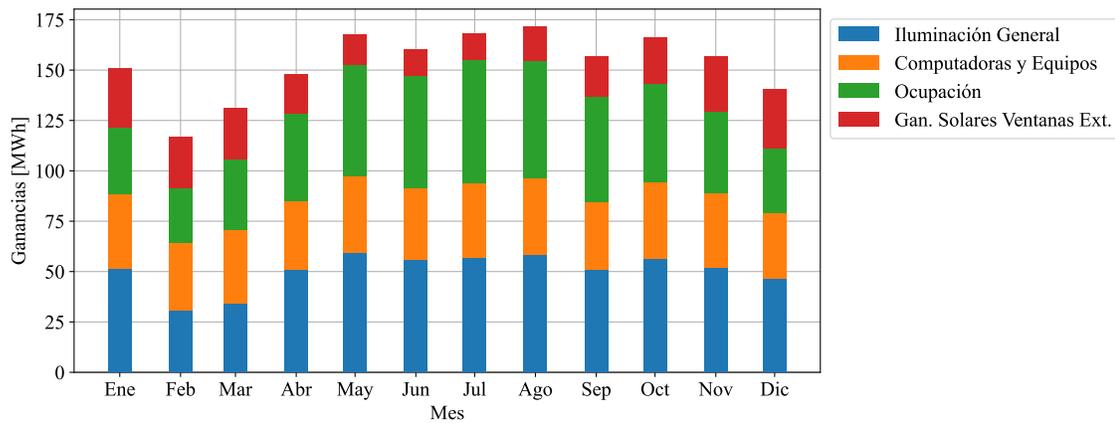


Figura 4.12: Comparación de ganancias en otros ítem en la simulación.

En la Figura 4.13 se comparan las ganancias totales obtenidas con el consumo simulado y el real.

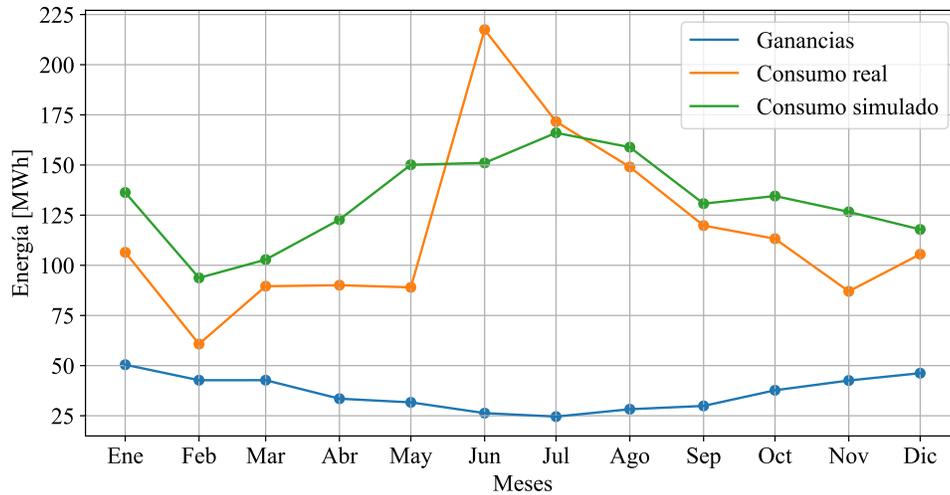


Figura 4.13: Comparación de consumo real con ganancias totales.

4.2.3. Confort

4.2.3.1. Confort mensual

El rango de confort se definió en la sección 2.3. La Tabla 4.6 resume las condiciones que se consideraron como de confort.

Tabla 4.6: Tabla resumen de condiciones de confort.

	Temperatura [°C]	Humedad
Máximo	27	0,012
Mínimo	22	0

En la Figura 4.14 se grafican las temperaturas interiores y la temperatura exterior de bulbo seco y la Figura 4.15 grafica las horas de disconfort mensuales en la simulación.

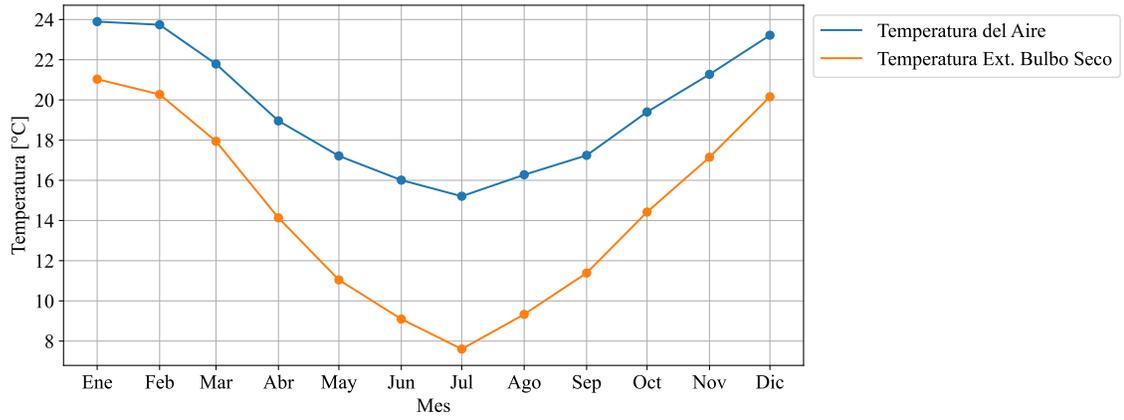


Figura 4.14: Temperaturas interiores y exteriores promedio mensuales en la simulación.

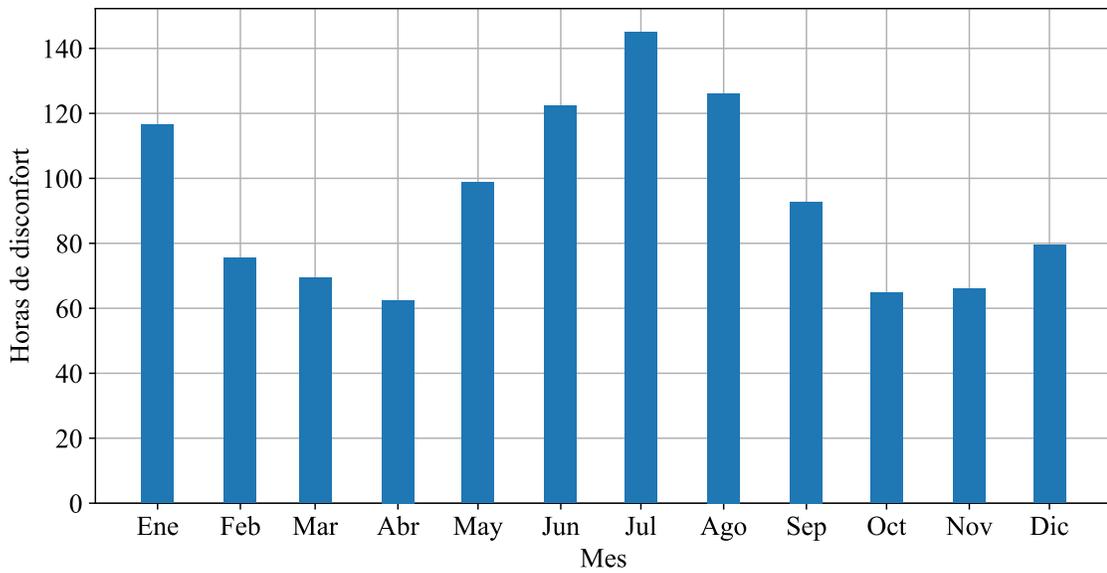


Figura 4.15: Horas de discomfort mensuales en la simulación.

En la Figura 4.16 se muestra el porcentaje de horas de discomfort que representan las horas marcadas en 4.15 con respecto a las 180 horas laborales mensuales.

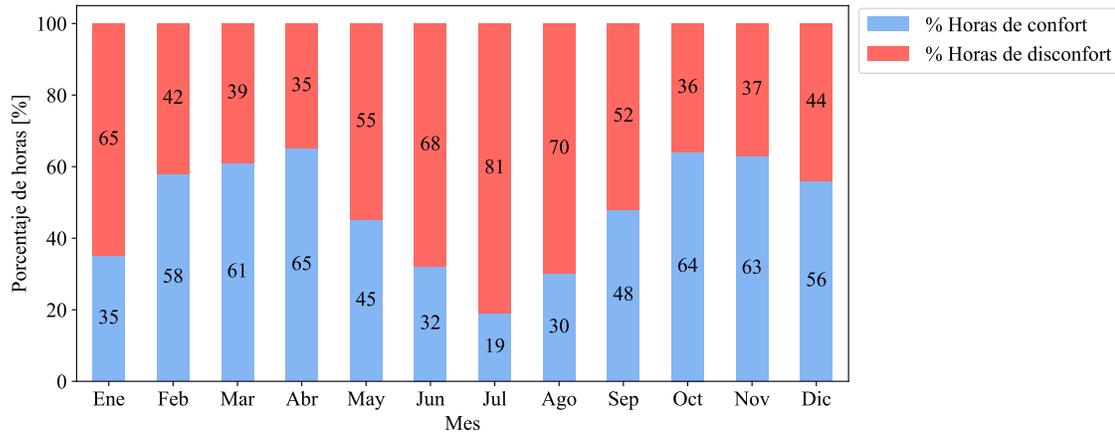


Figura 4.16: Porcentaje de horas de desconfort con respecto a las horas laborales totales.

Las horas de desconfort contabilizadas en las Figuras 4.15 y 4.16 no sólo contabilizan las horas de desconfort en las zonas acondicionadas, sino también en aquellas que no lo están como lo son escaleras y pasillos. Esto no es relevante ya que las personas no están gran parte de su jornada laboral en escaleras o pasillos, por lo que para futuras simulaciones se debe encontrar la forma de que no se consideren estas zonas.

Estas horas de desconfort se concentran principalmente en el primer piso y entrepiso, los cuales se observa en las Figuras 4.17 y 4.18. Los gráficos para el segundo piso y entrepiso se encuentran en el Anexo D.

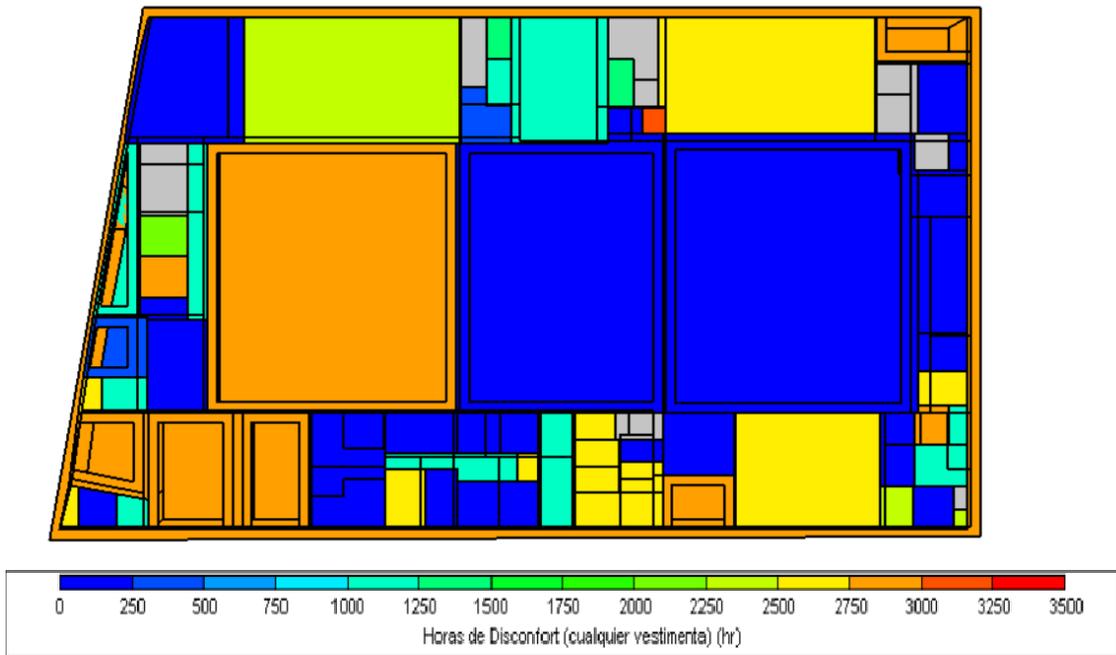


Figura 4.17: Horas de disconfort por zona para Piso 1.

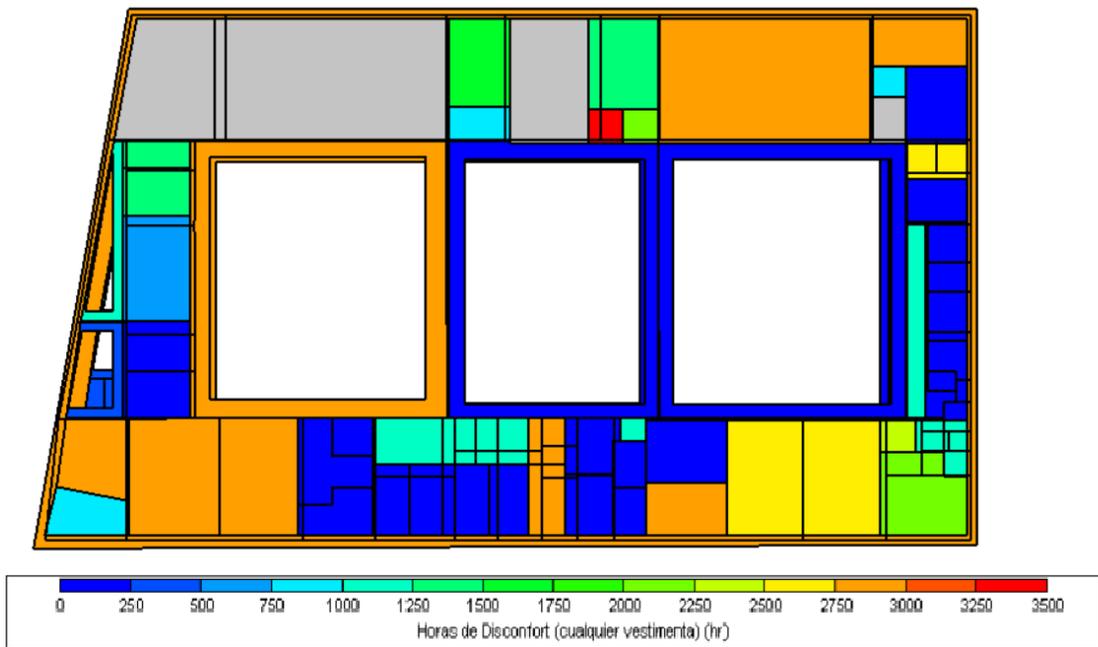


Figura 4.18: Horas de disconfort por zona para Entrepiso 1.

4.2.3.2. Confort en invierno y verano

De los gráficos de las Figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se observa que el consumo en calefacción es mucho mayor al de refrigeración. En esta sección del informe se visualizará con mayor detalle el consumo en climatización en verano (Enero) y en invierno (Julio).

Para ello, se grafican la suma de horas de desconfort por cada hora del día y la temperatura interior promedio por hora de Enero y Febrero para las siguientes zonas:

1. Edificio completo.
2. Oficina UOH (Universidad de O'Higgins): representa una oficina grande climatizada por aire acondicionado split.
3. Comedor del Rector: representa una zona grande climatizada por Chiller.
4. Patio Andrés Bello: representa una zona sin climatización.

Se debe notar que en los gráficos de esta sección está marcado el horario punta (de 18 a 23 horas) y en el caso de los gráficos de temperatura interior promedio además está el rango de confort definido en la Tabla 4.6.

• Edificio completo

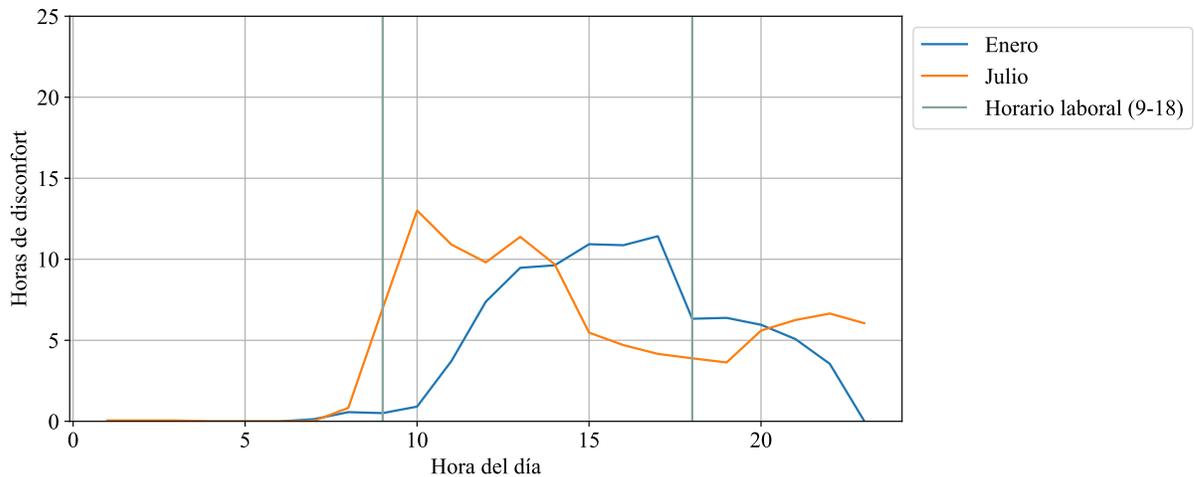


Figura 4.19: Suma de horas de desconfort para cada hora de Enero y Julio, edificio completo

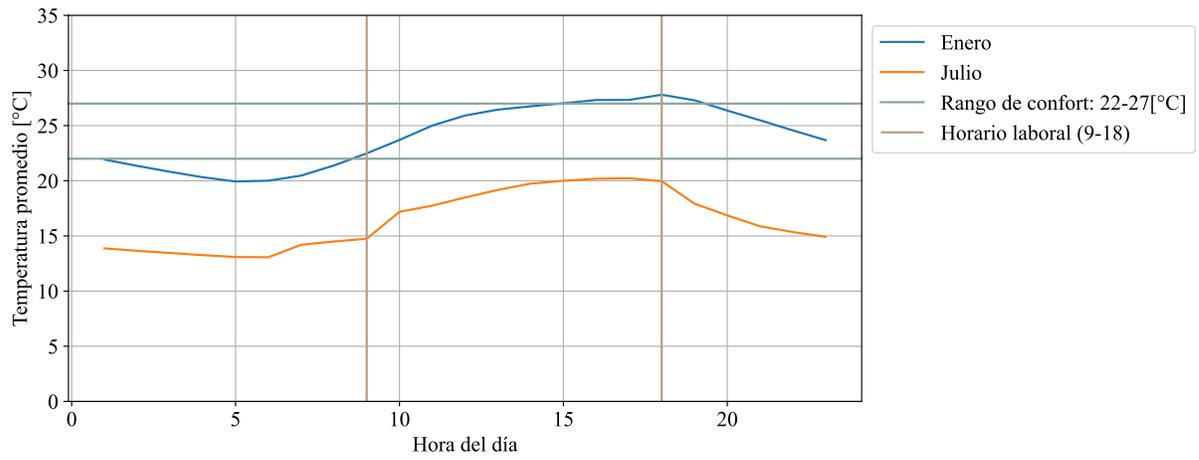


Figura 4.20: Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, edificio completo

• UOH

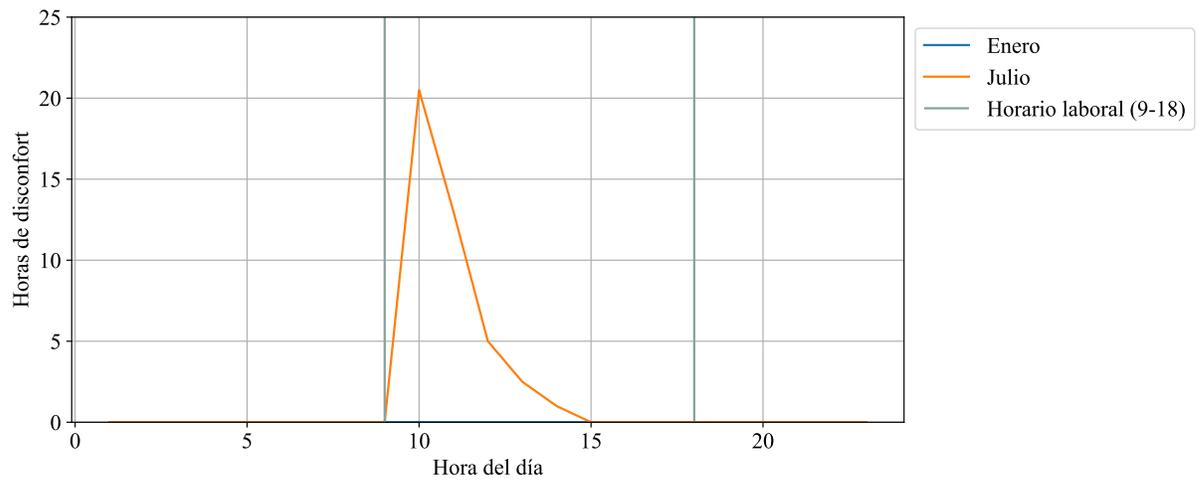


Figura 4.21: Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, UOH

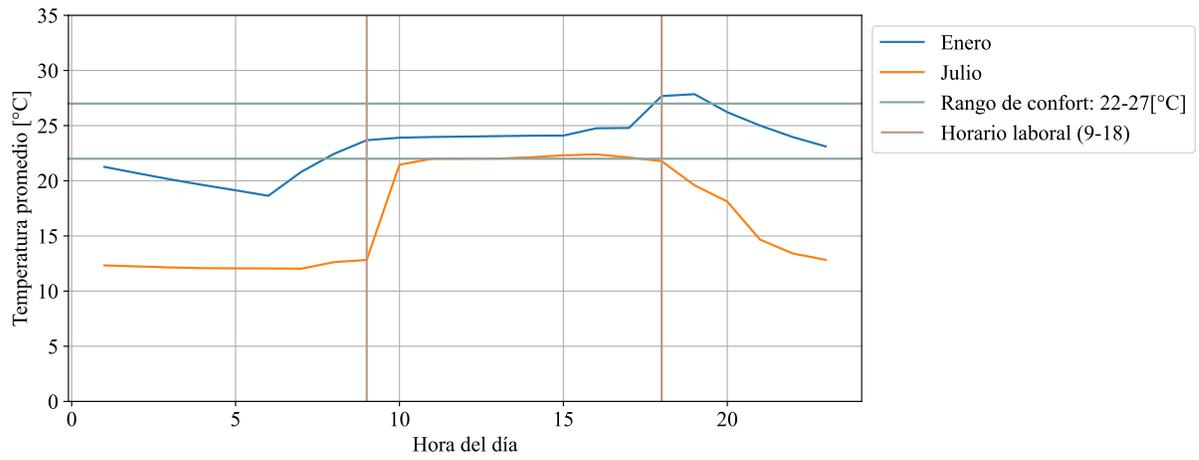


Figura 4.22: Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, UOH

• Comedor del Rector

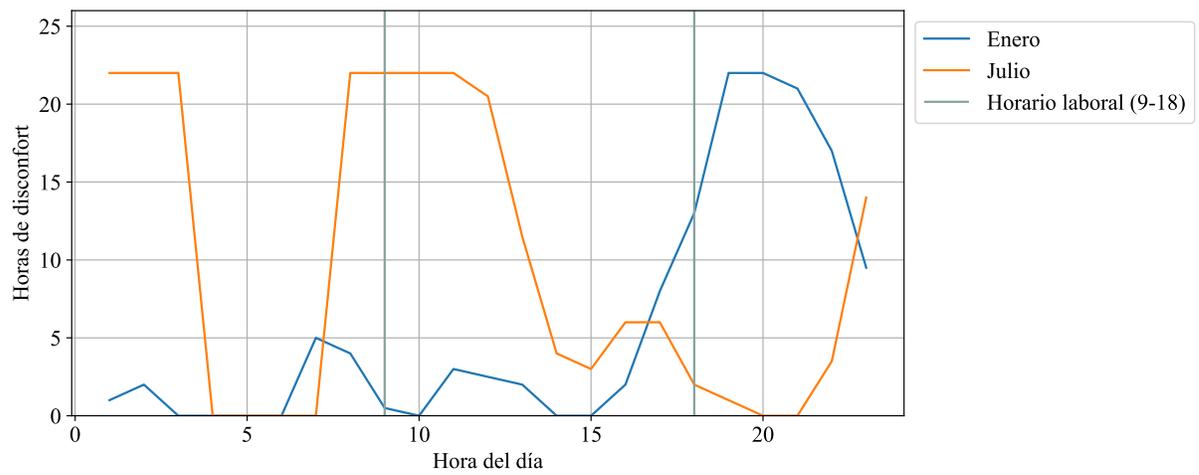


Figura 4.23: Suma de horas de desconfort para cada hora de Enero y Julio, Comedor del Rector

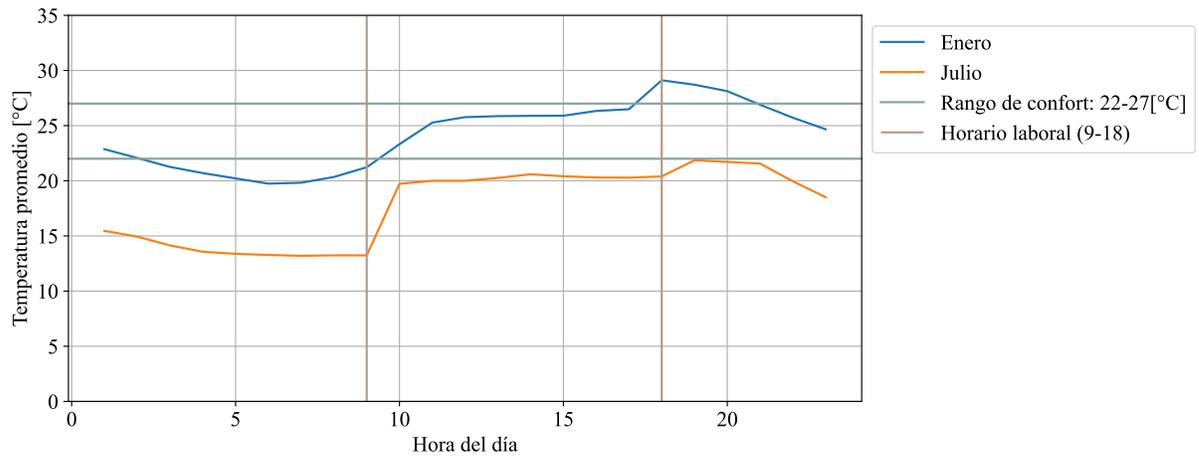


Figura 4.24: Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, Comedor del Rector

• **Patio Andrés Bello**

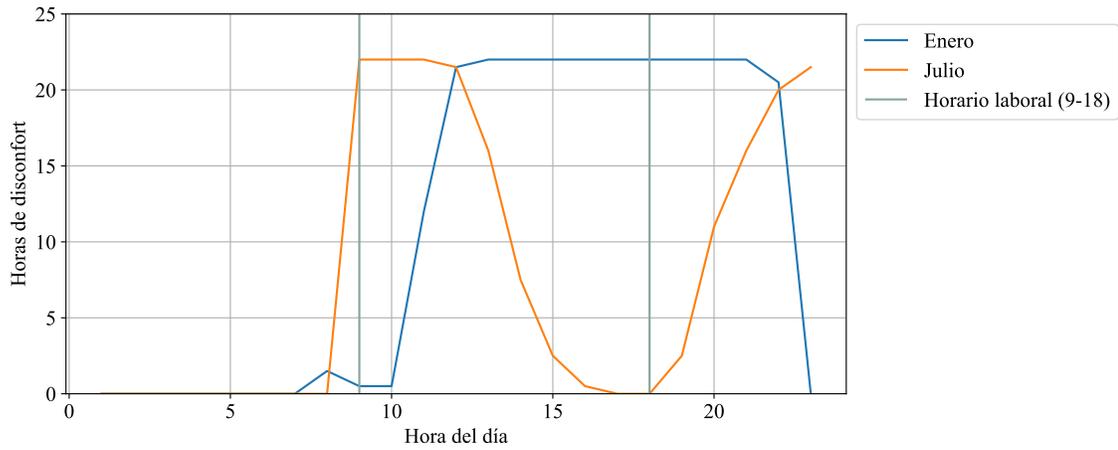


Figura 4.25: Suma de horas de discomfort para cada hora de Enero y Julio, Patio Andrés Bello

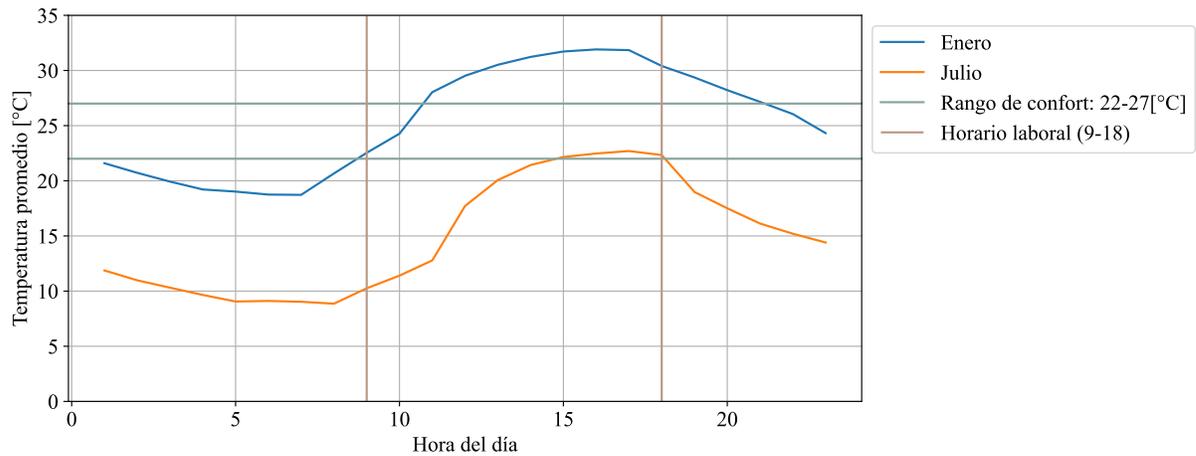


Figura 4.26: Temperatura interior promedio por hora para Enero y Julio, Patio Andrés Bello

En la Tabla 4.7 se muestran las temperaturas máximas en verano e invierno para cada caso mostrado.

Tabla 4.7: Temperaturas máximas en verano e invierno para cada caso.

Nombres	T_{max} verano [°C]	T_{max} invierno [°C]
Edificio completo	28	20
UOH	28	22
Comedor rector	29	22
Patio Andrés Bello	32	23

4.3. Análisis de sensibilidad

4.3.1. Tasa de infiltración de aire

4.3.1.1. Consumo mensual y anual

En esta sección se comparan los resultados con cambios en la tasa de infiltración de aire. Se simula reduciendo la tasa de infiltración a la mitad ($1,5[ren/h]$), aumentándola al doble ($6[ren/h]$) y al triple ($9[ren/h]$). Estos valores son realistas ya que son menores a los $14,85[ren/h]$ mencionados por Gilliot [8].

Para el consumo total se obtienen los resultados mostrados en la Figura 4.27, donde se compara el consumo real del año 2019 con los consumos simulados variando la tasa de infiltración de aire.

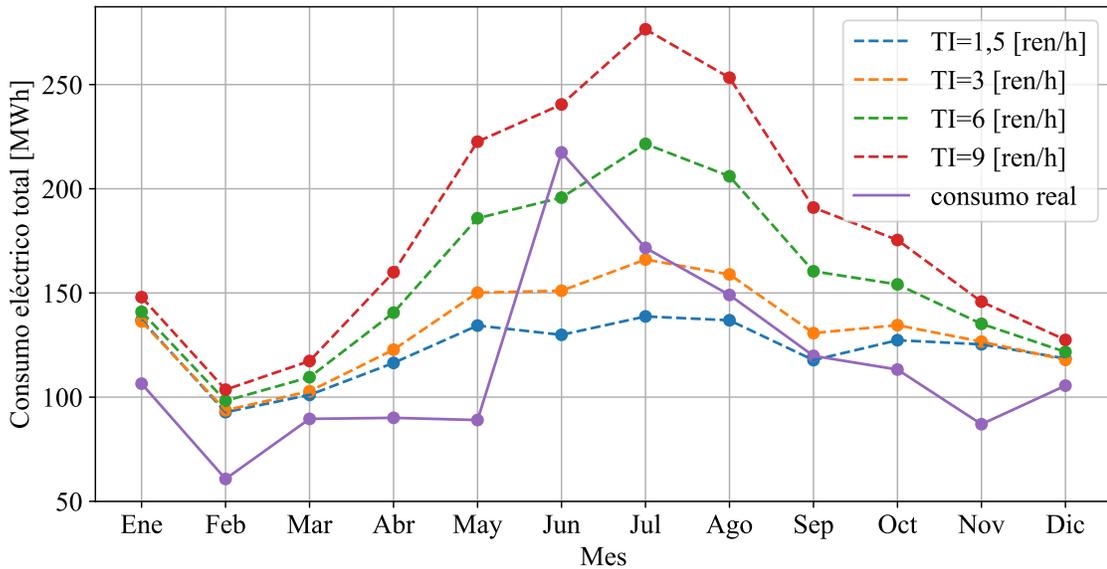


Figura 4.27: Comparación de consumo simulado variando tasa de infiltración con cuentas de luz del año 2019.

El aumento de consumo al aumentar la tasa de infiltración visto en la Figura 4.27 se debe al aumento en consumo de calefacción al aumentar la tasa de infiltración, lo cual se ve reflejado en la Figura 4.28.

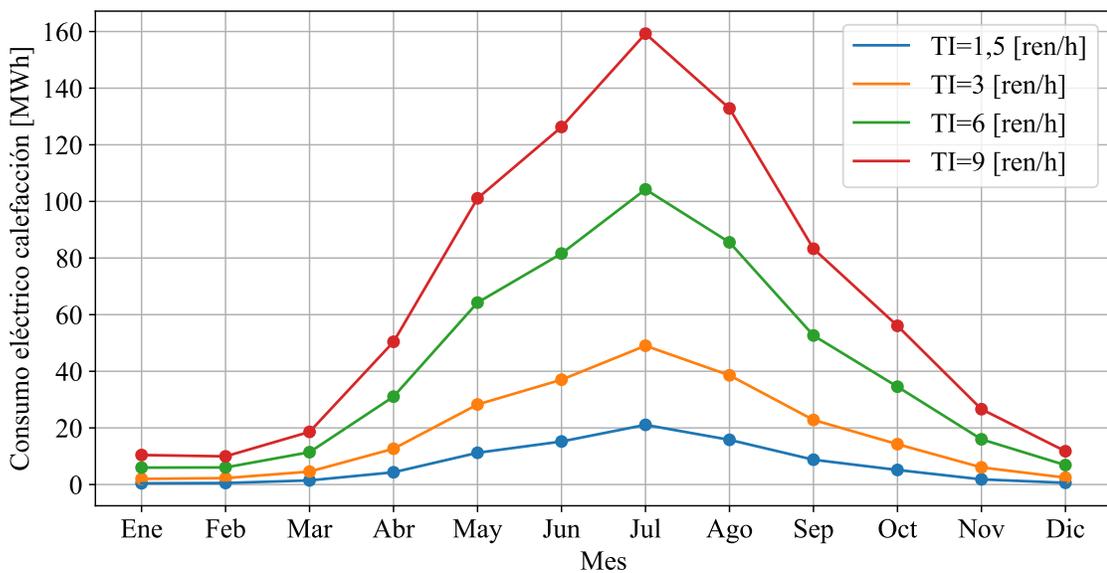


Figura 4.28: Consumo eléctrico en calefacción mensual variando tasa de infiltración de aire.

De la Figura 4.28 se puede notar que en todos los casos los consumos simulados difieren de los reales. Como se dijo en la Tabla 4.2, el consumo anual real es de $1399,6[MWh]$. En la Tabla 4.8 se observan los errores absoluto y porcentual con respecto al consumo real para cada caso simulado.

Tabla 4.8: Variación del error absoluto y porcentual al variar tasa de infiltración.

Casos	Consumo [MWh]	Error absoluto [MWh]	Error porcentual [%]
TI=1,5 [ren/h]	1476,2	-76,6	5,5
TI=3 [ren/h]	1591,5	-191,9	13,7
TI=6 [ren/h]	1869,8	-470,2	33,6
TI=9 [ren/h]	2161,4	-761,8	54,4

4.3.1.2. Perfil diario

En la Figura 4.29 se muestra cómo varía el consumo por ítem al variar la infiltración para el mes de Julio. Para el resto de los meses los perfiles diarios de consumo por ítem se encuentran en el Anexo A.2.1.

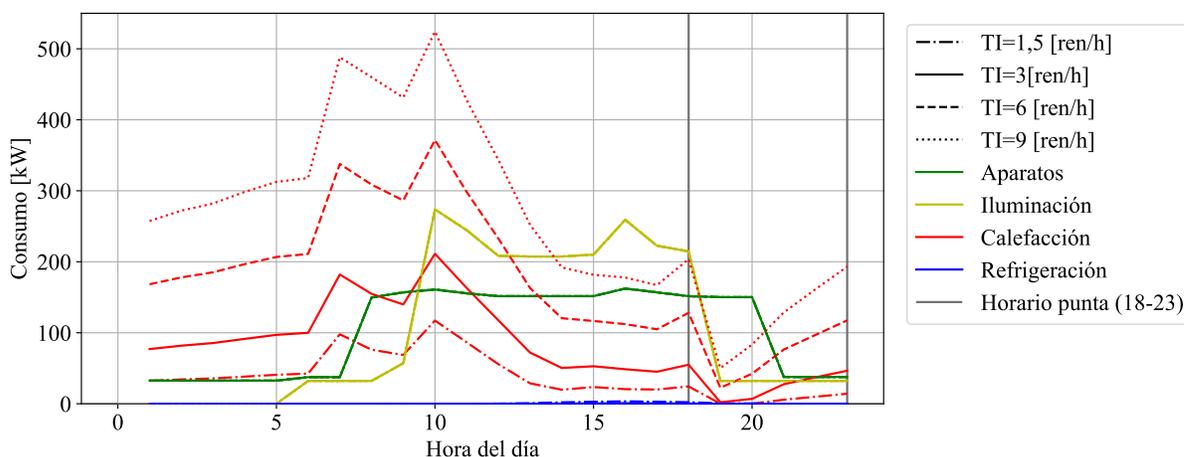


Figura 4.29: Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Julio).

Luego, se analiza el cómo cambia el perfil consumo total para un determinado mes variando la infiltración. Esto se puede observar en las Figuras 4.30, 4.31, 4.32 y 4.33.

1. Enero

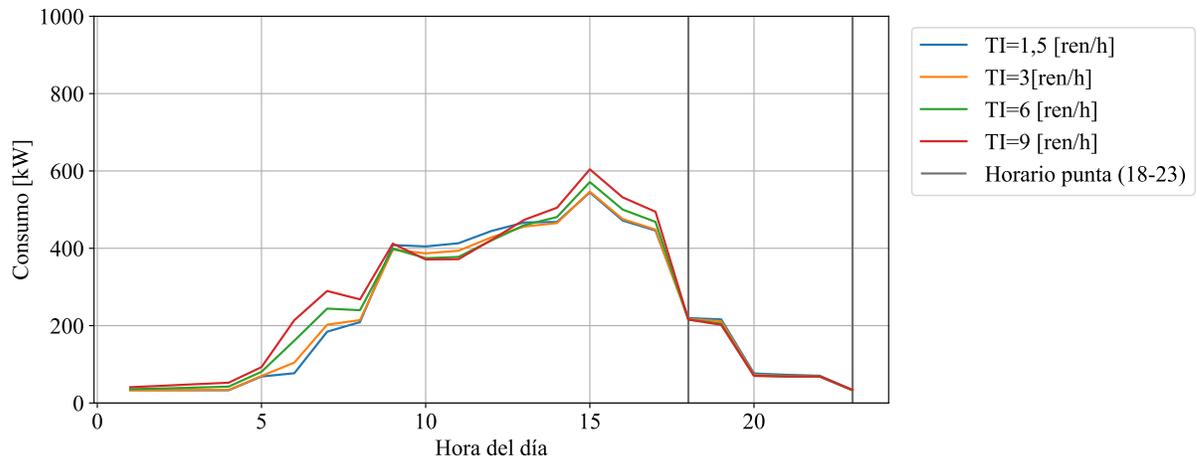


Figura 4.30: Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Enero.

2. Abril

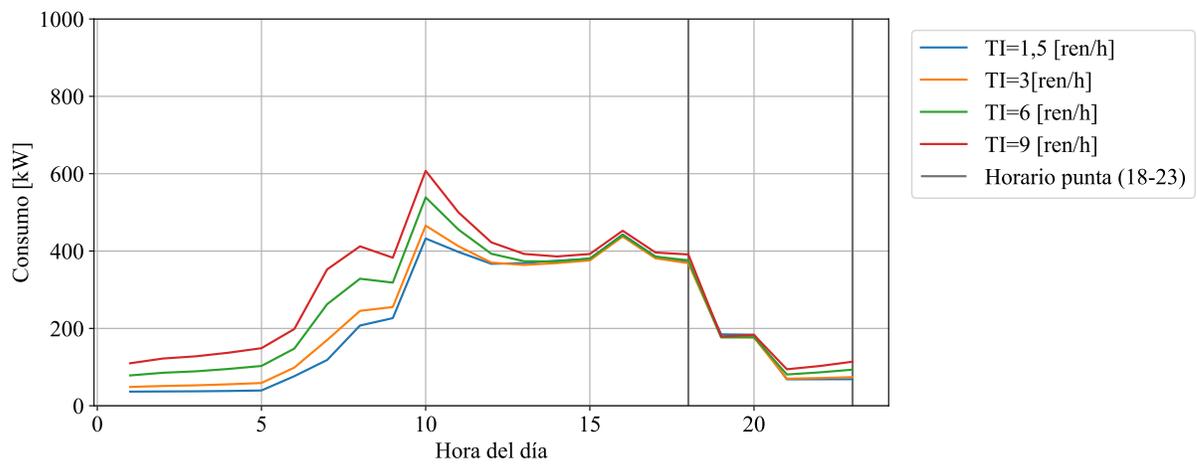


Figura 4.31: Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Abril.

3. Julio

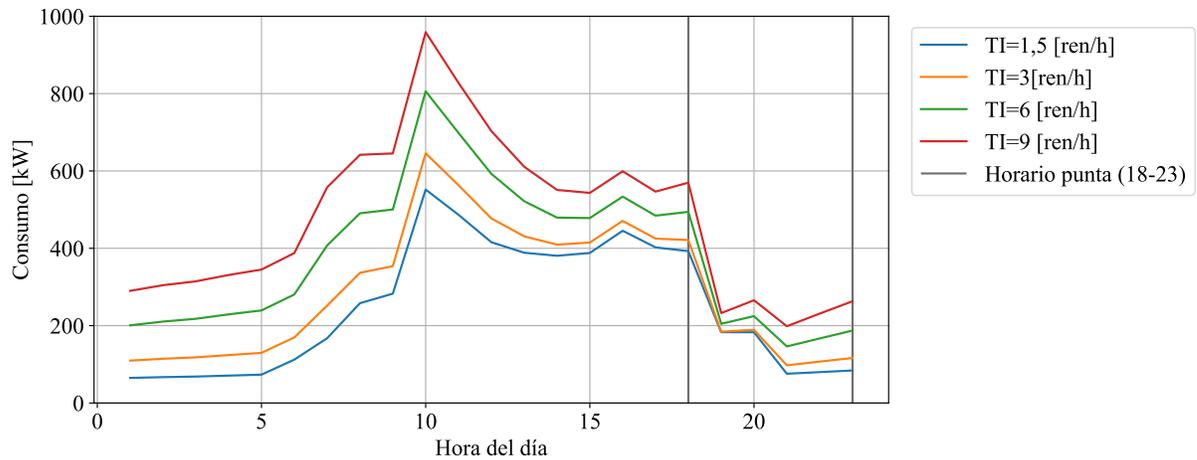


Figura 4.32: Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Julio.

4. Octubre

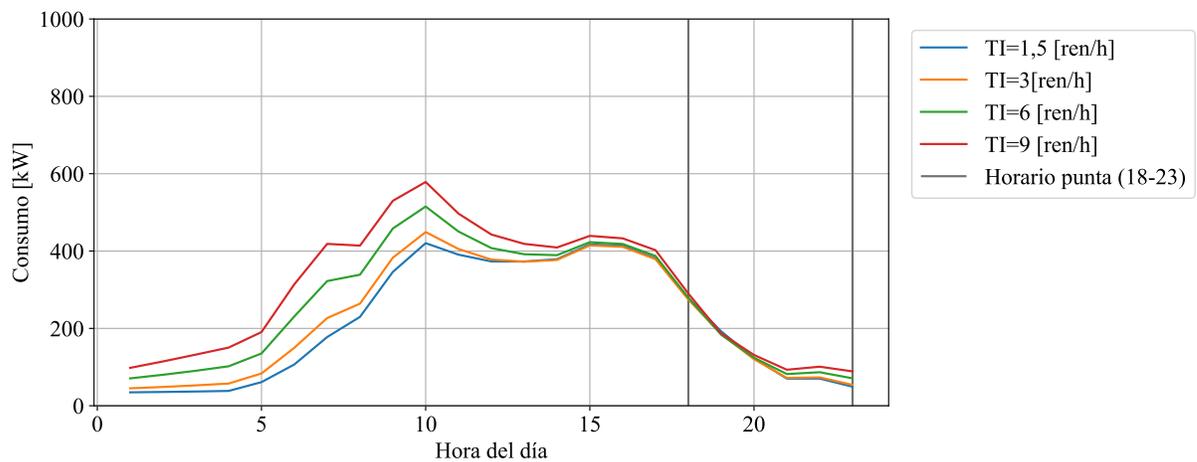


Figura 4.33: Variación del perfil de consumo total al cambiar la tasa de infiltración para Octubre.

4.3.2. Porcentaje de HVAC

4.3.2.1. Consumo mensual y anual

En esta sección se comparan los resultados con cambios en el porcentaje de superficie con aire acondicionado. El caso base está representado como un porcentaje de 100%, ya que abarca todas las superficies en las que se pueden poner aire acondicionado tipo split, como por ejemplo oficinas y salones de eventos. Los otros casos son con porcentaje 80% y 66%, ya que se cubre dicho porcentaje de las superficies donde es posible colocar equipos split.

Para el consumo total se obtienen los resultados mostrados en la Figura 4.34, donde se compara el consumo real del año 2019 con los consumos simulados variando el porcentaje de superficie con equipos de aire acondicionado.

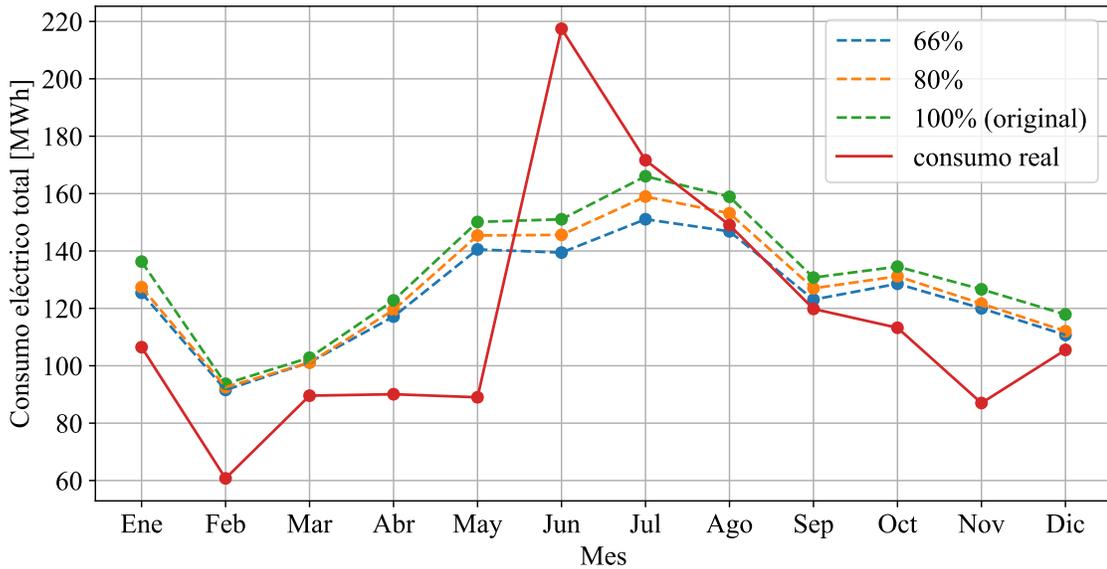


Figura 4.34: Comparación de consumo simulado variando porcentaje de aire acondicionado con cuentas de luz del año 2019.

De la Figura 4.34 se puede notar que en todos los casos los consumos simulados difieren de los reales. Como se dijo en la Tabla 4.2, el consumo anual real es de 1399,6[MWh]. En la Tabla 4.9 se observan los errores absoluto y porcentual con respecto al consumo real para cada caso simulado.

Tabla 4.9: Variación del error absoluto y porcentual al variar porcentaje de HVAC

Casos	Consumo [MWh]	Error absoluto [MWh]	Error porcentual [%]
66%	1495,5	-95,9	6,9
80%	1535,4	-135,8	9,7
100% (original)	1591,5	-191,9	13,7

4.3.2.2. Perfil diario

En la Figura 4.35 se muestra el perfil diario de consumo por ítem para Julio variando el porcentaje de zonas con aire acondicionado split. Para el resto de los meses representativos de cada estación se grafican estos perfiles en el Anexo A.2.2.

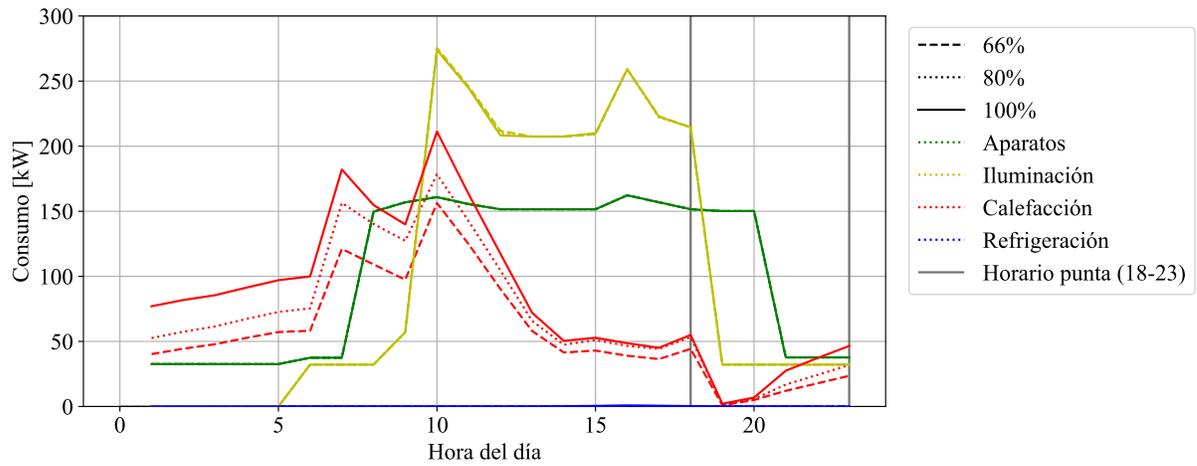


Figura 4.35: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Julio).

Luego, se analiza el cómo cambia el perfil consumo total para un determinado mes variando el porcentaje de superficies climatizadas con aire acondicionado tipo split. Esto se puede observar en las Figuras 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39.

1. Enero

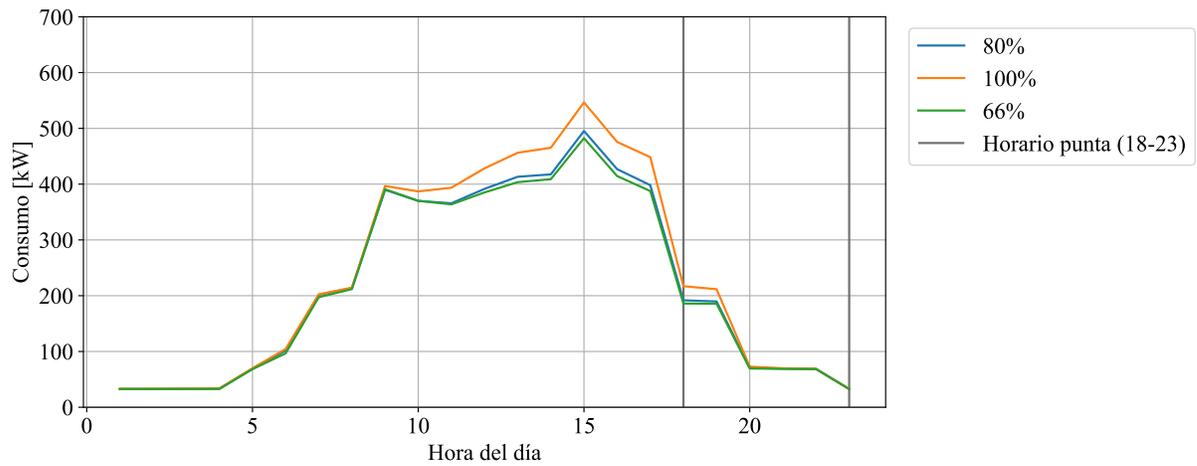


Figura 4.36: Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Enero.

2. Abril

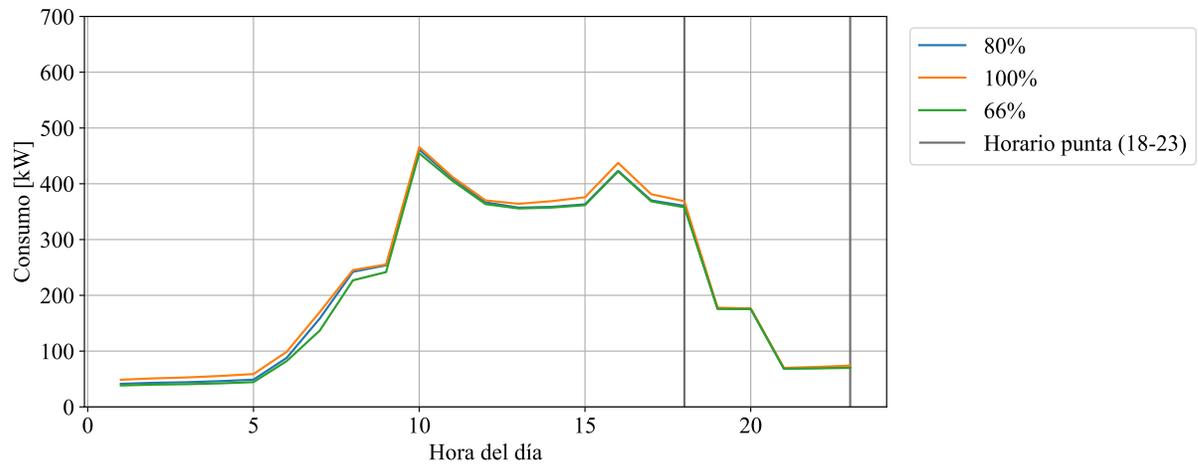


Figura 4.37: Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Abril.

3. Julio



Figura 4.38: Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Julio.

4. Octubre

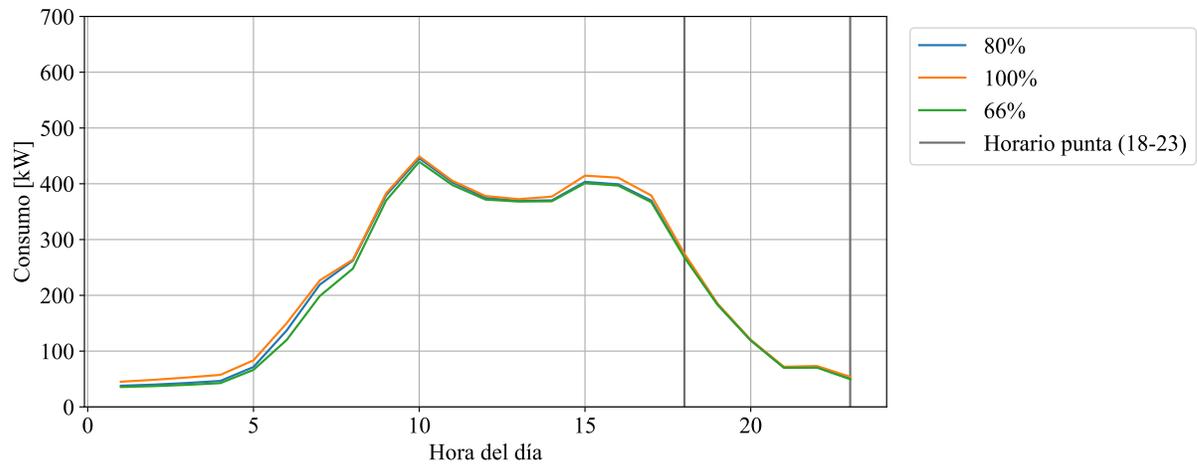


Figura 4.39: Variación del perfil de consumo total al cambiar el porcentaje de split para Octubre.

4.3.3. Horarios de ocupación

4.3.3.1. Consumo mensual y anual

En esta sección se comparan los resultados con cambios en el horario de ocupación. Se simulan los siguientes casos:

- Sin ocupación los viernes
- Ocupación original: lunes a jueves de 9:00 a 18:15 horas y viernes de 9:00 a 16:00 horas
- Jornada extendida: lunes a jueves de 9:00 a 20:00 horas y viernes de 9:00 a 16:00 horas

Este último caso se simuló pensando en que es común que las personas trabajen horas extras durante los días de semana.

Para el consumo total se obtienen los resultados mostrados en la Figura 4.40, donde se compara el consumo real del año 2019 con los consumos simulados variando los horarios de ocupación.

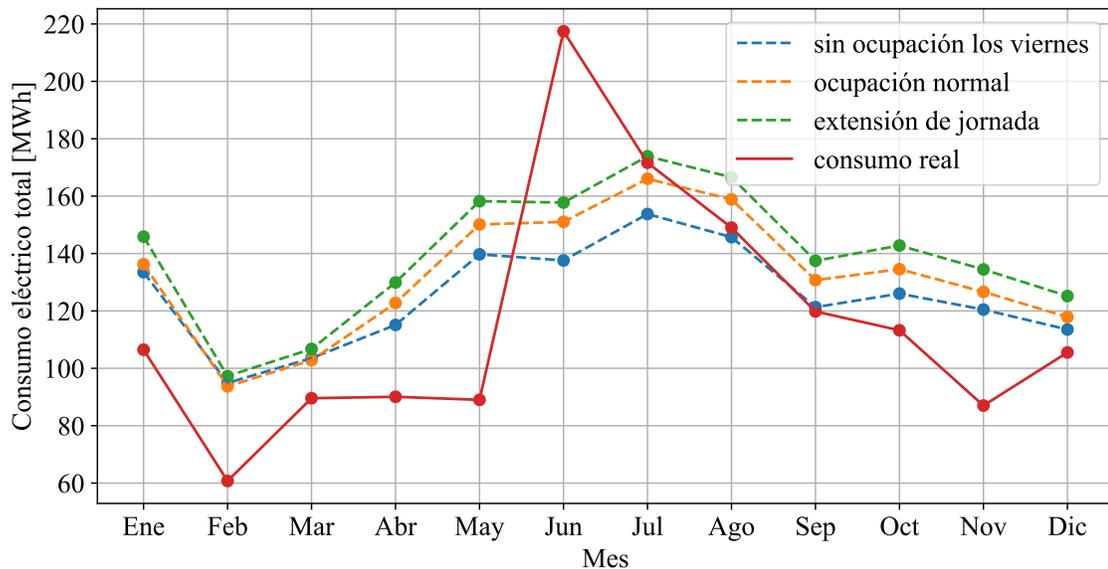


Figura 4.40: Comparación de consumo simulado variando horarios de ocupación con cuentas de luz del año 2019.

De la Figura 4.40 se puede notar que en todos los casos, los consumos simulados difieren de los reales. Como se dijo en la Tabla 4.2, el consumo anual real es de 1399,6[MWh]. En la Tabla 4.10 se observan los errores absoluto y porcentual con respecto al consumo real para cada caso simulado.

Tabla 4.10: Variación del error absoluto y porcentual al variar horario de ocupación

Casos	Consumo [MWh]	Error absoluto [MWh]	Error porcentual [%]
sin ocupación los viernes	1505,2	-105,6	7,5
ocupación normal	1591,5	-191,9	13,7
extensión de jornada	1676,2	-276,6	19,8

4.3.3.2. Perfil diario

En la Figura 4.41 se grafica el perfil diario de consumo por ítem del mes de Julio. El resto de este tipo de perfiles para los demás meses representativos de cada estación se grafican en el Anexo A.2.3.

Es importante destacar que para el caso sin ocupación los viernes el perfil diario se calculó promediando los días de lunes a jueves, ya que al no haber ocupación los viernes, los viernes bajarían el consumo por hora diario.

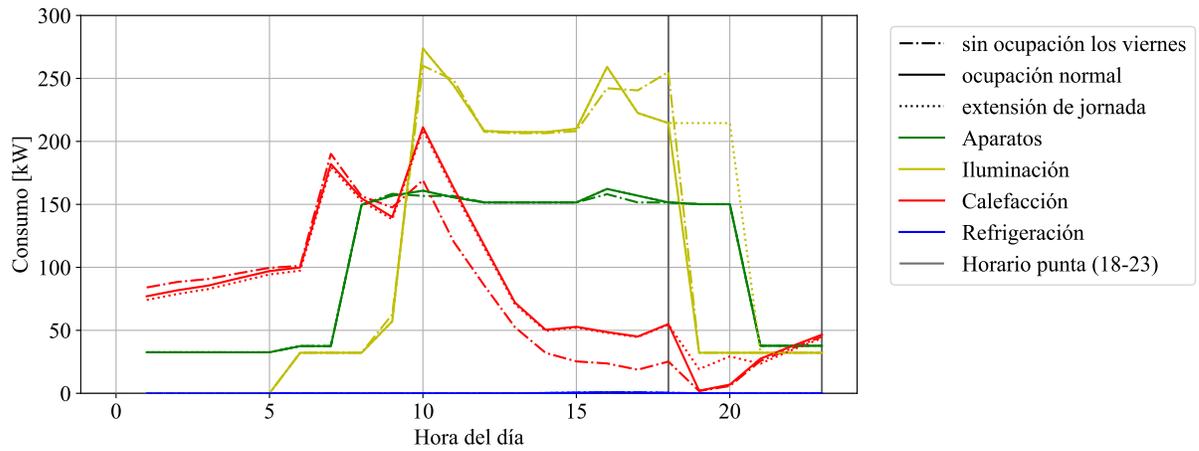


Figura 4.41: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Julio).

Luego, se analiza el cómo cambia el perfil consumo total para un determinado mes variando el horario de ocupación. Esto se puede observar en las Figuras 4.42, 4.43, 4.44 y 4.45.

1. Enero

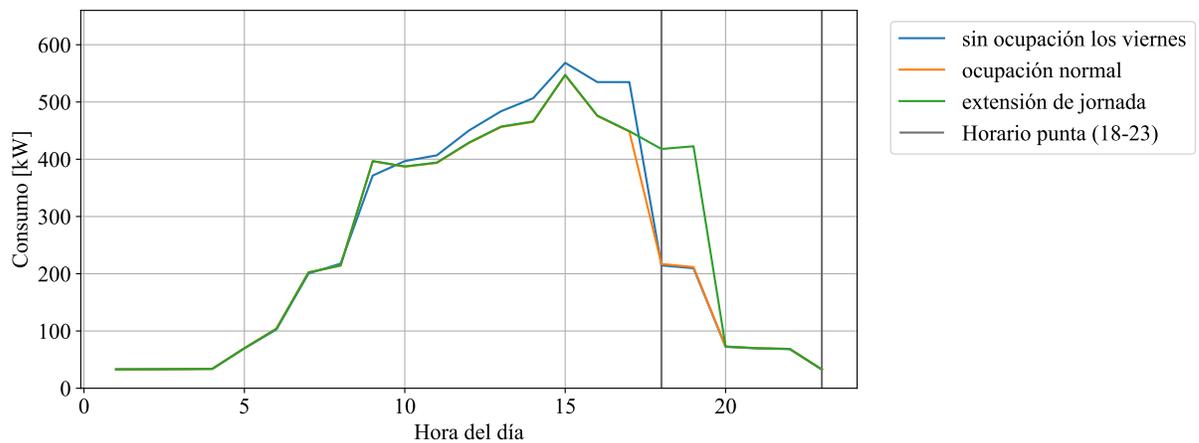


Figura 4.42: Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Enero.

2. Abril

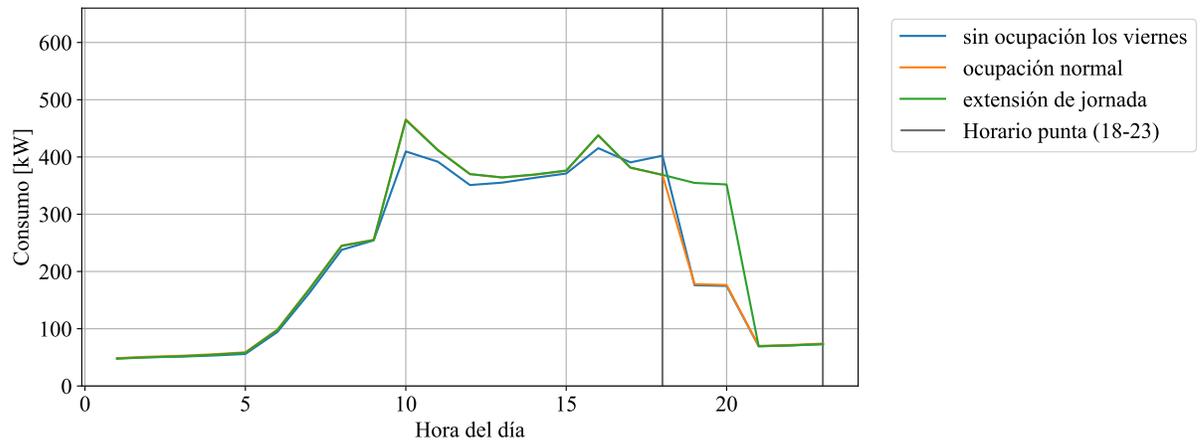


Figura 4.43: Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Abril.

3. Julio

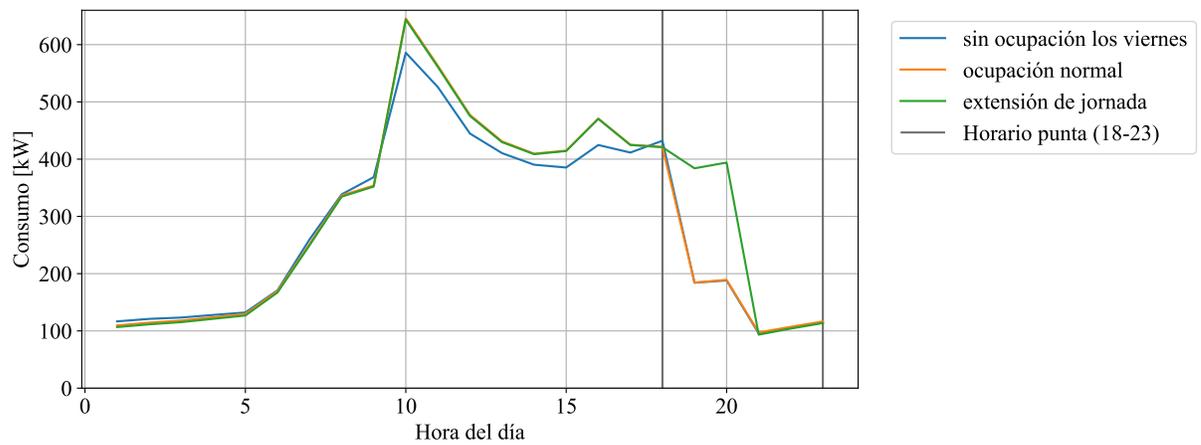


Figura 4.44: Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Julio.

4. Octubre

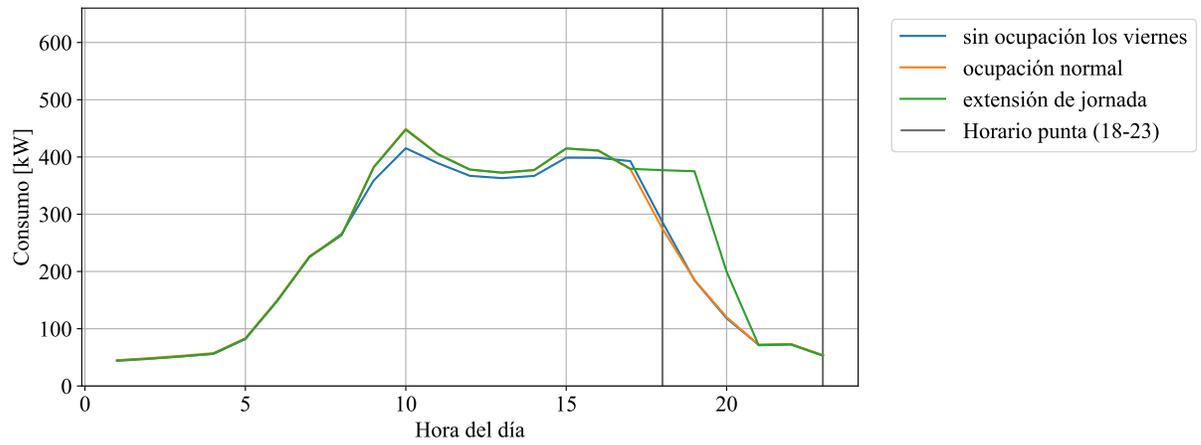


Figura 4.45: Variación del perfil de consumo total al cambiar el horario de ocupación en Octubre.

Capítulo 5

Análisis y Discusión de Resultados

5.1. Caso base

5.1.1. Consumo

5.1.1.1. Comparación de consumo real con simulado

En el gráfico de la Figura 4.2, se puede apreciar que los consumos dados por la simulación no son exactamente iguales a los consumos dados por la tarifa de electricidad. En la Tabla 4.2 se muestra que el error entre el consumo real y el simulado es de un 13,7%.

Esto ocurre ya que los datos de las cuentas de electricidad (ver Figura 2.6) poseen ciertas irregularidades. Los datos usados como consumo real fueron los del año 2019 graficados en la curva de color naranja. En ella se puede ver que el consumo de Junio fue considerablemente mayor al de Julio siendo que los datos meteorológicos (ver sección 3.1.1) de Junio y Julio no son muy distintos.

Los datos de consumo de luz entregados por el arquitecto encargado de Casa Central consisten en una planilla de Excel que contiene una tabla con el número de boleta, la fecha de emisión de ésta, la fecha de vencimiento y el monto a pagar. Estos no son todos los datos que se requieren puesto que una cuenta de electricidad en Chile contiene los elementos mostrados en la Figura 5.1.


 • Señor(es): **UNIV DE CHILE**
 • R.U.T.: **60.910.000-1**
 • Giro: **FISCAL**
 • Dirección: de reparto: **D Paraguay 265 T15 403 - SANTIAGO - SANTIAGO**
 • Dirección: comercial: **BDO O HIGGINS 1058 - SANTIAGO - SANTIAGO**
 • Ruta: **05.717.0211-2 Bloque:2**

Enel Distribución Chile S.A.
 Distribución y venta de energía eléctrica y venta de artículos eléctricos del hogar, deportes, equipamiento y computación.
 R.U.T.: 96.800.570-7
 Santa Rosa 76, piso 8, Santiago.

RUT: 96.800.570-7
FACTURA ELECTRÓNICA
N° 20997362

S.I.I. - SANTIAGO CENTRO

Número de cliente
266977-3
 Fecha de emisión
04/07/2019
 Fecha estimada próxima lectura
02/08/2019
 Asociado a subestación
LORD COCHRANE
 Dirección suministro
BDO O HIGGINS 1058 - SANTIAGO - SANTIAGO
 Fecha término de contrato de suministro
INDEFINIDO
 Fecha límite de modificación de su contrato de tarifa
01/07/2020
 Antecedentes generales
 Potencia conectada kW **2.5 KW**
 Tarifa **BT3 Área 1 S Caso 3**
 Período de lectura Desde **06/05/2019** Hasta **02/07/2019**
 Demandas máximas leídas kW Suministradas **160,0**
 Consumo total kWh **60640**
 Información al cliente

COMPENSACION SBC POR INTERRUPCIONES INTERNAS Y EXTERNAS DEL PERIODO JUN/2018-MAY/2019
 TOTAL DE INTERRUP. NO AUTORIZADAS 0
 TIEMPO TOTAL INT. NO AUTORIZADAS(seg) 0
 TIEMPO TOTAL A COMPENSAR(seg) 0
 CONSUMO PROMEDIO(Kwh/seg) 0,00000000
 ENERGIA NO SUMINISTRADA(Kwh) 0,00
 COSTO DE FALLAS(\$/Kwh) 0,0000
 MONTO A COMPENSAR(\$) 0

Detalle del consumo de medidores

N° de medidor	Propiedad	Constante	Lectura anterior	Lectura actual	Consumo (kWh)
27010646	Compañía	80	2140	2898	60640
4084157R	Compañía	80	18264	18525	20880

Especificaciones de consumo

Cargos	Valores (\$)
ARRIENDO DE EQUIPOS	5.293
ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO	615
ELECTRICIDAD CONSUMIDA 60640 KWH	3.866.079
TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD	620.797
DEMANDA MAX. 160,0 KW	2.520.599
DEVOLUCIÓN POR FACTURACIÓN PROVISORIA CARGO POR SERVICIO PÚBLICO	2.425.974CR
	23.771
Total Monto Neto	7.013.383
Total I.V.A.(19%)	1.332.543
Monto Exento	23.771
Monto Total	8.369.697

Páguese hasta **22/07/2019** Total a pagar **5.943.723**
A PAGAR SEGUN CONVENIO PAC SANTANDER STGO

Tarifas fijadas según Decreto N° 11 del 05/11/2012
 Ministerio de Energía.

eneldistribucion.cl

NUESTROS CANALES DE ATENCIÓN A TU DISPOSICIÓN
 eneldistribucion.cl  600 696 0000
 Aplicación Móvil  Oficina Móvil
 @EnelClientesCL  Red de oficinas comerciales
 EnelChile



Timbre Electrónico S.I.I Res. 35 del 2006
 Verifique documento www.sii.cl

COMPROBANTE DE PAGO

Número de cliente
266977-3
 Ruta
05.717.0211-2 Bloque:2
 Total a pagar
5.943.723
 Pagar hasta el
22/07/2019

Timbre de Caja

 10102669772700005943723020000403
 eneldistribucion.cl

Figura 5.1: Ejemplo de cuenta de electricidad de Casa Central.

Como se puede observar en la Figura 5.1, el monto a pagar no necesariamente indica el consumo eléctrico de un mes, sino que este monto está dado por más elementos. Por esta razón, se sugiere que los datos de consumo se registren no solo en pesos chilenos, sino que también en kWh.

Además, se debe registrar el período de lectura de la cuenta de luz. En el ejemplo de la Figura 5.1 se muestra una cuenta de luz donde se registra un período de lectura desde el 06/05/2019 hasta el 02/07/2019, lo cual indica que se leyeron casi 2 meses.

En información entregada por el arquitecto encargado de Casa Central, se indica la fecha de emisión y vencimiento. En el caso de la boleta de la Figura 5.1 la fecha de emisión es 04/07/2019, por lo cual en este trabajo se consideró este dato de consumo dentro de Julio siendo que según el periodo de lectura debiese considerarse dentro de Junio.

Por casos descritos como los del párrafo anterior, se deben registrar más datos además del precio para tener un correcto registro del consumo eléctrico.

También es interesante analizar la tendencia de los meses Octubre, Noviembre y Diciembre 2019 (ver Figura 2.6), donde se observa que el consumo de estos meses es mayor al consumo de Abril, Mayo y Junio del mismo año. Esto no es verosímil en vista de que Octubre, Noviembre y Diciembre 2019 fueron los meses del estallido social en Chile, donde no hubo eventos ni ocupación en el edificio.

Este es otro ejemplo de caso para argumentar que se deben registrar más datos de la boleta de consumo energético.

5.1.1.2. Consumo por ítem mensual

De las Figuras 4.3 y 4.4 se observa que el consumo de iluminación es mayor al consumo en refrigeración y calefacción para todos los meses. Además, el consumo de iluminación y aparatos se mantiene relativamente constante para todos los meses.

Esto ocurre pues según los documentos de registro de arranques eléctricos de Casa Central el porcentaje de potencia instalada de alumbrado (64%) es mayor al de climatización (21,3%). Esto se puede observar en la Tabla 2.4 y en el gráfico de la Figura 2.5.

No se sabe qué tecnología existe en la iluminación de Casa Central, pero en la Tabla 3.4 se estima que la densidad de potencia es de $34,84[W/m^2]$. De acuerdo con el proyecto de norma mexicana adjuntado en el Anexo C, los valores de potencia de iluminación para que sean considerados en esta norma deben estar entre 10 y $15[W/m^2]$, por lo que claramente se está utilizando iluminación ineficiente.

De la Figura 4.6 se observa que los consumos en calefacción en los meses de invierno son mayores al consumo de refrigeración en los meses de verano, lo cual es coherente con el hecho de que las temperaturas son menores en invierno. También se observa que en general el consumo anual en calefacción es mucho mayor al consumo en refrigeración (ver Tabla 4.3), siendo el consumo en calefacción más de 3 veces mayor al de refrigeración.

Esto es debido a que en general, los edificios patrimoniales tienen infiltraciones de aire debido a grietas internas en los muros, lo que causa que se necesite una mayor cantidad de calefacción.

Para saber con mayor exactitud el consumo en calefacción y refrigeración, se debe conocer la tasa de infiltración de aire. En este trabajo se asumió una tasa de infiltración de $3[ren/h]$ ya que con ésta el edificio alcanza una temperatura cercana a $15^{\circ}C$ en Julio sin ningún tipo de sistema de climatización (ver Tabla 4.1), el cual es un valor verosímil para un edificio antiguo en invierno.

Por lo explicado en el párrafo anterior, se recomienda medir la tasa de infiltración de aire en el edificio con el método de presurización del ventilador (ver sección 2.4.1).

5.1.1.3. Perfil de consumo diario

El perfil de consumo diario es importante para este análisis puesto que a partir de éste se identifican a qué horas están los peaks de consumo, de cuántos kW son estos peaks y en qué horarios hay oportunidades de reducir el consumo energético.

Un ejemplo de esto se puede ver en la cuenta de luz mostrada en la Figura 5.1, donde en las estructuras de costos se indica que su peak de consumo fue de $160[kW]$ y que por ello se cobran $2.520.599[CLP]$, lo cual es equivalente al 45% del monto total de la cuenta. En el caso de los perfiles diarios de los meses representativos de la Figura 4.9 se observa que los peaks de consumo son mucho mayores pues, como se dijo en la sección Antecedentes, el edificio tiene 3 arranques eléctricos.

Los peaks del perfil de consumo simulado de la Figura 4.9 son de $646[kW]$ (Julio), $449[kW]$ (Octubre) y $466[kW]$ (Abril) a las 10:00 horas y de $547[kW]$ (Enero) a las 15:00 horas, por lo que se podría cobrar un monto adicional por tener estos peaks de potencia tan altos. La causa de estos peaks son la iluminación y refrigeración en Enero, la iluminación en Abril y Octubre, y por último la iluminación y calefacción en Julio.

Se puede ver que los peaks mencionados anteriormente son mucho mayores que el peak mencionado en la cuenta de luz de la Figura 5.1, de $160[kW]$. Esto es debido a que existen 3 arranques eléctricos en el edificio y la cuenta corresponde a sólo a uno de ellos.

Por casos como estos, se recomienda medir el perfil de consumo diario de lunes a viernes con un analizador de redes, mostrado en la Figura 2.9.

Viendo la Figura B.1 en el Anexo B.1 se puede observar que el máximo de temperatura en los 4 meses corresponde a las 15:00 horas y el mínimo corresponde a las 7:00. En el caso de Enero los resultados cumplen con lo esperado porque el peak de consumo corresponde a la hora donde la temperatura exterior es más alta. En el caso de Abril y Octubre es esperable que los resultados de consumo total sean similares pues la temperatura exterior en dichos meses es parecida. En el caso de Julio efectivamente el mayor consumo de calefacción corresponde al mínimo de temperatura (ver Figura 4.10), pero el mayor consumo total corresponde a las 10:00 donde el consumo de iluminación es mayor que el de calefacción, lo cual no tiene una explicación lógica.

5.1.2. Ganancias

En la Figura 4.11, se observa que en los meses de verano las ganancias de equipos de refrigeración son mayores a las de calefacción y viceversa en invierno. Esto es algo que se espera del modelo ya que en verano se necesita refrigerar el ambiente y en invierno calefaccionar.

También se puede observar que las ganancias de calefacción anuales son mayores que las ganancias de refrigeración. Las ganancias por refrigeración equivalen a un 39 % de las ganancias por calefacción. Esto ocurre porque el edificio en general es frío, incluso en verano, por lo que se necesita calentar mucho más en invierno que enfriar en verano.

En la Figura 4.13 se observa que las ganancias son mayores al consumo real y al simulado. Esto se debe a que la suma de ganancias considera el calor metabólico de las personas y las ganancias solares, lo cual no está incluido en el consumo.

5.1.3. Confort

5.1.3.1. Confort mensual

En la Figura 4.14 se puede observar que la temperatura interior en el mes de Julio está en torno a los 16[°C]. Esto ocurre a causa de que la simulación calcula la temperatura interior promedio del edificio y existen zonas no acondicionadas (ver Figura 3.11), las cuales son un 47 % de la superficie total. La temperatura en Julio en las oficinas está en torno a los 21[°C].

En la Figura 4.15 se observa que la mayor cantidad de horas de desconfort se encuentra en el mes de Julio, representando el 81 % de las horas totales laborales según la Figura 4.16.

Esta cantidad de horas de desconfort puede estar sobredimensionada porque en este conteo no sólo se cuentan las zonas acondicionadas por Chiller y Split, sino también aquellas no acondicionadas. Esto se puede ver claramente en las Figuras 4.17 y 4.18, donde las zonas marcadas en amarillo, es decir, con una cantidad de horas de desconfort entre 2750 y 3000 al año son:

- Patio Andrés Bello
- Sala de reuniones
- 1 oficina
- Salón Amanda Labarca
- 7 baños
- Zonas de Archivo de Casa Central
- Museo Gabriela Mistral
- Hall de Distribución
- Librería universitaria
- Cocina

- Comedor rector
- 3 zonas no identificadas

Como se puede notar, hay sólo una oficina en un rango alto de horas de discomfort, las demás zonas no corresponden a zonas donde las personas trabajen en su jornada laboral. Un ejemplo de esto son los baños y el Hall de Distribución, los cuales la gente ocupa ocasionalmente dentro de la jornada laboral.

También se puede ver que está en esta lista el Patio Andrés Bello, el cual se consideró una zona interior cuando en realidad no lo es en su totalidad ya que tiene un techo que deja pasar el aire y la luz. Además de no tener equipos de climatización.

Para las zonas de archivo de Casa Central se deben tener condiciones especiales para mantener las colecciones que se encuentran adentro, las cuales no se conocen en este trabajo y se deja como información requerida para futuros trabajos.

Para tener una referencia con qué comparar los datos simulados de horas de discomfort, se podría hacer una encuesta de discomfort en el edificio. Parte de la metodología del trabajo de Martínez [4] consiste en realizar un estudio estadístico de la percepción del clima exterior e interior de distintas clases de personas: hombres, mujeres, profesores, alumnos, funcionarios, entre otros. En especial para la librería universitaria ya que es una zona donde se trabaja durante el horario laboral y está marcada como zona con muchas horas de discomfort.

Además, también se recomienda medir la temperatura interior de las distintas zonas del edificio, para saber a qué se deben las horas de discomfort.

5.1.3.2. Confort en invierno y verano

De la Figura 4.19 donde se muestra el perfil de discomfort del edificio completo se ve que el programa cuenta horas de discomfort fuera del horario laboral, además de concentrarse más las horas de discomfort en la mañana en invierno y en la tarde en verano.

Esto no se ve reflejado en el gráfico de las temperaturas promedio de la Figura 4.20, donde se observa que el rango de confort de temperaturas sólo se cumple en Enero en las mañanas, lo cual ocurre ya que se está tomado la temperatura promedio de todo el edificio, por lo cual se analizan zonas acondicionadas con split, con chiller y zonas sin acondicionar.

De la Figura 4.21 donde se muestra el perfil de discomfort de la oficina de la UOH (la cual es una zona acondicionada por aire split) se ve que hay horas de discomfort sólo en las mañanas de Julio, lo cual es lo esperado según el gráfico de temperaturas de la Figura 4.22 ya que en Julio se llega al rango de temperatura de confort desde las 10 hasta las 18 en promedio (hay días donde se llega a la temperatura de confort y otros donde no).

De la Figura 4.23 donde se muestra el perfil de discomfort del Comedor del Rector (la cual es una zona acondicionada por Chiller) se observa que hay mayor cantidad de horas de discomfort en Julio que en Enero, debido a que en el gráfico de temperaturas (ver Figura 4.24) se ve que en Julio en promedio no se alcanza el rango de confort.

De la Figura 4.25 donde se muestra el perfil de discomfort del Patio Andrés Bello (la cual es una zona no acondicionada) se ve que las horas de discomfort son la mayoría. Es decir, de cada 23 días laborales del mes, hubo 22 días donde a cierta hora había discomfort.

Lo descrito anteriormente se observa que ocurre en las mañanas de invierno y las tardes de verano. Esto se puede explicar con el gráfico de temperaturas interiores de la Figura 4.26, donde se ve que la temperatura máxima en verano es de $32[^\circ\text{C}]$ y la temperatura máxima en invierno es de $23[^\circ\text{C}]$.

En la Tabla 4.7 se observa que la temperatura máxima para el edificio completo y los otros 2 espacios es de $28[^\circ\text{C}]$, por lo que se puede decir que en general existe diferencia entre tener y no tener sistema de refrigeración.

En cambio, la temperatura máxima en invierno para el edificio completo y los otros 2 espacios es de $22[^\circ\text{C}]$, por lo que se puede decir que en general no existe una gran diferencia entre tener o no tener sistema de calefacción.

Por lo que de este análisis se puede concluir que el consumo de calefacción es mucho mayor al de refrigeración debido a que existen muchas horas de discomfort en verano, ya que falta potencia de refrigeración en el sistema.

5.2. Análisis de sensibilidad

5.2.1. Tasa de infiltración de aire

5.2.1.1. Consumo anual y mensual

De la Figura 4.27 se observa que a medida que aumenta la tasa de infiltración de aire aumenta el consumo total. Donde más se nota este aumento es en el mes de Julio. Esto ocurre ya que, al aumentar la tasa de infiltración de aire, disminuye la temperatura interior del edificio sin HVAC, por lo que el sistema de calefacción debe actuar con mayor potencia.

Esto se ve claramente en la Figura 4.28, donde aumenta notoriamente el consumo de calefacción en Julio al aumentar la tasa de infiltración.

De la Tabla 4.8 se observa que, al aumentar la tasa de infiltración, aumenta el error porcentual

del consumo simulado con respecto al consumo real. De acuerdo con esta tabla se podría decir que la infiltración de aire del edificio es de $1,5[\text{ren}/h]$ y no $3[\text{ren}/h]$, pero al haber una infiltración de $1,5[\text{ren}/h]$ la temperatura interior del edificio sería de $16[^\circ\text{C}]$ en Julio (ver Tabla 4.1) y el supuesto inicial que se realizó en la Metodología (ver sección 4.1) fue de que la temperatura sin HVAC debía ser cercana a $15[^\circ\text{C}]$.

Por lo que se recomienda medir la tasa de infiltración de aire en el edificio, como se mencionó anteriormente. Y también se recomienda medir la temperatura interior del edificio para corroborar el supuesto inicial.

5.2.1.2. Perfil diario

En las Figuras 4.30, 4.31, 4.32 y 4.33 se observa la misma tendencia del perfil anual: el consumo total aumenta al aumentar la tasa de infiltración.

También se ve que el peak de consumo es entre las 5:00 y 10:00 AM. En la Figura 4.29 y en las Figuras del Anexo A.2.1 se observa que este peak en el consumo se debe a la calefacción, pues en ese rango de tiempo las temperaturas son las más bajas, llegando en el mes de Julio a los 3°C (ver Figura B.1).

Además, se ve que el aumento es más pronunciado en la mañana, principalmente en Julio. Esto se debe al consumo de calefacción en la mañana dado por las bajas temperaturas en este período explicado anteriormente.

5.2.2. Porcentaje de HVAC

5.2.2.1. Consumo anual y mensual

De la Figura 4.34 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de zonas con aire acondicionado split aumenta el consumo, pero no tiene un impacto tan grande como el aumentar la tasa de infiltración.

De la Tabla 4.9 se observa que a menor porcentaje de zonas con aire acondicionado split menor es el error porcentual con respecto al consumo anual real, lo que haría pensar que no todas las zonas acondicionables deben estar con un equipo tipo split.

La cantidad de zonas con equipos tipo split se tomó como supuesto, por lo que se recomienda registrar en los planos de Casa Central la ubicación de estos equipos para saber cuántos hay y en qué zonas.

5.2.2.2. Perfil diario

De los gráficos de consumo por ítem de la Figura 4.35 y del Anexo A.2.2, se observa que a medida que aumenta la superficie cubierta con aire acondicionado split aumenta el consumo de

calefacción en la mañana.

Sin embargo, el resto de los consumos se mantienen constantes, lo que se ve reflejado en los perfiles de consumo total en las Figuras 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39 donde el aumento en el consumo total al aumentar las zonas con aire acondicionado tipo split no es significativo.

5.2.3. Horarios de ocupación

5.2.3.1. Consumo anual y mensual

Del gráfico de la Figura 4.40 se observa que a medida que aumentan las horas de ocupación, aumenta el consumo total, lo cual es lógico ya que se ocupan durante más tiempo los equipos, lo cual causa un mayor consumo energético.

De la Tabla 4.10 se observa que el caso más cercano al consumo anual real es el caso donde no existe ocupación los viernes. Esto se da debido a que en el edificio existe "población flotante", es decir, personas que están en el edificio sólo durante ciertos períodos de tiempo y no una jornada completa durante todo el año, por lo que este efecto podría ser equivalente a que no exista ocupación los viernes.

Por esta razón se sugiere monitorear o encuestar cuánto tiempo se ocupan efectivamente los espacios del edificio.

5.2.3.2. Perfil diario

De los perfiles diarios de consumo total de las Figuras 4.42, 4.43, 4.44 y 4.45, se observa que la curva de color verde correspondiente al perfil con jornada extendida se extiende hacia la derecha del gráfico, es decir, hasta altas horas de la noche. Esto es lo esperado ya que se ocupa la iluminación por más tiempo al tener personal trabajando más allá de la jornada laboral.

Capítulo 6

Conclusiones

Los objetivos de este trabajo se cumplieron en su mayoría ya que se obtuvo información para modelar el consumo energético de Casa Central, pero no es la información suficiente ya que faltan mejores datos de consumo mensual eléctricos en kWh y del período de lectura de las cuentas de luz.

Otros datos que faltan por obtener son la tasa de infiltración de aire del edificio y la cantidad y ubicación de equipos de aire acondicionado tipo split en los planos de Casa Central.

Sin embargo, se logró modelar térmica y eléctricamente el edificio de Casa Central en condiciones normales en Energy Plus, puesto que se consideraron los horarios de oficina usuales del edificio y un calendario de eventos de un año normal como lo es el 2016.

También se logró caracterizar el consumo energético del edificio a través del consumo mensual, los perfiles de consumo diarios por meses representativos de cada estación del año, las ganancias térmicas y los indicadores de confort como la temperatura interior promedio del edificio y las horas de discomfort. Pero no se logró obtener una comparación confiable con los datos reales pues éstos no representan el consumo mensual real por lo explicado anteriormente.

A través de la caracterización del consumo se logró observar que:

1. El consumo total al año es de $1591,5[MWh]$, lo cual en comparación a las cuentas de luz del año 2019 ($1399,6[MWh]$) tiene un error de un $13,7\%$.
2. El mes con el mayor consumo es Julio ($166[MWh]$) y el mes con menor consumo es Febrero ($93[MWh]$).
3. Para el perfil diario de consumo se obtuvo que el peak de consumo diario ocurre el mes de Julio a las $10:00[AM]$ y es de $646[kW]$.
4. Del consumo total anual se obtuvo que un $43,7\%$ del consumo anual corresponde a aparatos, un $38,4\%$ a iluminación, un $14,1\%$ a calefacción y sólo un $3,9\%$ a refrigeración.

5. De las horas de discomfort se obtuvo que Julio es el mes con más horas de discomfort, con 145 horas en dicho mes.

Del análisis de confort en verano e invierno, se concluye que el consumo en calefacción ($220[MWh]$) es mucho mayor al consumo en refrigeración ($61[MWh]$) ya que las horas de discomfort en Enero son altas, por lo que falta potencia de refrigeración en el sistema.

Además, mediante el análisis de sensibilidad, se lograron identificar necesidades de información para reducir las incertezas de la simulación, debido a que en la comparación de errores porcentuales de los distintos casos no necesariamente el caso con más probabilidad de ser el real es el que tiene el menor error porcentual.

Al identificar las incertezas de la simulación se propusieron medidas para levantar necesidades de información sobre el consumo. Estas medidas son:

1. Medir la tasa de infiltración de aire con el método de presurización del ventilador.
2. Realizar una encuesta de discomfort en el edificio para comparar los resultados de la encuesta con los obtenidos de la simulación.
3. Registrar en los planos del edificio los equipos de aire acondicionado tipo split para saber exactamente que superficie del edificio está acondicionada con este tipo de equipos.
4. Registrar en los datos de cuentas de luz el consumo en kWh y el período de lectura.
5. Medir consumo eléctrico por hora para obtener el perfil diario de consumo para identificar horas en las que se puede reducir el consumo energético.
6. Condiciones de presión y temperatura a las cuales se deben mantener las colecciones del archivo de Casa Central.
7. Medir temperaturas interiores de distintos salones del edificio.

Para trabajos futuros, además de recolectar la información necesaria para obtener una simulación más certera, se recomienda evaluar el impacto energético y económico de medidas de eficiencia energética, como por ejemplo las descritas en la sección 2.1.

También se recomienda realizar análisis económicos sobre la medición de ciertos parámetros tales como: tasa de infiltración de aire, temperatura interior del edificio, consumo en tiempo real, etc.

Las medidas de eficiencia energética propuestas en trabajos futuros deben ser orientadas a aparatos e iluminación, ya que según el gráfico de la Figura 4.5, los mayores porcentajes de consumo corresponden a éstos ítem.

Bibliografía

- [1] REYES GOWER, Joaquin. Contraste de las Capacidades de Diferentes Programas de Modelamiento Térmico, A Partir de la Modelación del Edificio Ubicado en Blanco Encalada 2120 [en línea]. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2010 [Fecha consulta: 7 de noviembre 2021]. Disponible en < <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103653>>
- [2] C+R+F ARQUITECTOS, Programa cargas térmicas Casa Central Universidad de Chile. 4 de diciembre del 2013. Santiago, Universidad de Chile, Casa Central. pp. 3
- [3] SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES, Certificado de Inscripción de Instalación Eléctrica Interior. 1 de Junio del 2009. Santiago, Universidad de Chile, Casa Central. pp. 2
- [4] MARTÍNEZ MOLINA, A. Metodología para la Caracterización y Confort Térmicos en Edificios Históricos [en línea]. Universitat Politècnica de València, 2016 [consulta: 28 abril 2022]. <<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/68487>>
- [5] Conselleria d'Educació, Cultura i Esport, CEIP FABIÁN Y FUERO [en línea] <<https://portal.edu.gva.es/ceipfabianyfuero/nuestro-centro/>> [consulta: 09 junio 2022]
- [6] AYUNTAMIENTO DE VALENCIA, Museo de Historia de Valencia [en línea] <<https://mhv.valencia.es/es/historia-del-edificio>> [consulta: 09 junio 2022]
- [7] U.S. Department of Energy's (DOE), Building Technologies Office (BTO), Energy Plus Weather Data [en línea] <<https://energyplus.net/weather>> [consulta: 09 junio 2022]
- [8] M.C. Gillott, D.L. Loveday, J. White, C.J. Wood, K. Chmutina, K. Vadodaria, Improving the airtightness in an existing UK dwelling: The challenges, the measures and their effectiveness [en línea], Building and Environment, 2016, Volume 95, <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.017>> [consulta: 10 junio 2022]
- [9] ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy [en línea] Atlanta <http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf> [consulta: 04 julio 2022]
- [10] ÁLVAREZ LEMUNAO, Osvaldo. Evaluación de la influencia de la materialidad de la envolvente, en la demanda termoenergética. Caso de estudio: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso [en línea]. Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso - Facultad de Ingeniería, 2018 [Fecha consulta: 04 julio 2022]. Disponible en:

- <<http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvscl/2708/%C3%81lvarez%20Lemunao>>
[consulta: 04 julio 2022]
- [11] ODÓN DEMÓFILO DE BUEN RODRÍGUEZ, Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-007-ENER-2013, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. [en línea] <https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5331452&fecha=04/02/2014#gsc.tab=0> [consulta: 15 julio 2022]
- [12] OSAKA ELECTRONICS, ¿Cómo funciona un analizador de redes eléctricas? [en línea] <<https://osakaelectronicsltda.com/blog/recomendaciones/como-funciona-un-analizador-de-redes-electricas>> [consulta: 25 julio 2022]
- [13] MOLINA CANCINO, Gonzalo. Factibilidad de una nueva metodología experimental para el cálculo de infiltraciones en una envolvente térmica, alternativa al método de presurización del ventilador [en línea]. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2016 [Fecha consulta: 25 de julio 2022]. Disponible en <<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140782>>
- [14] U.S. Department of Energy's (DOE), Building Technologies Office (BTO), Learn about DesignBuilder [en línea] <<http://designbuilder.co.uk/helpv7.0/index.htm>> [consulta: 16 agosto 2022]
- [15] VICERRECTORÍA DE EXTENSIÓN Y COMUNICACIONES UCHILE. Archivo Central Andrés Bello. [en línea] <<http://archivobello.uchile.cl/>> [consulta: 24 agosto 2022]

Anexos

Anexo A. Gráficos de perfiles diarios

A.1. Caso base

Se grafican los perfiles de consumo por ítem para el caso base para los meses representativos en las Figuras A.1, A.2, A.3, A.4.

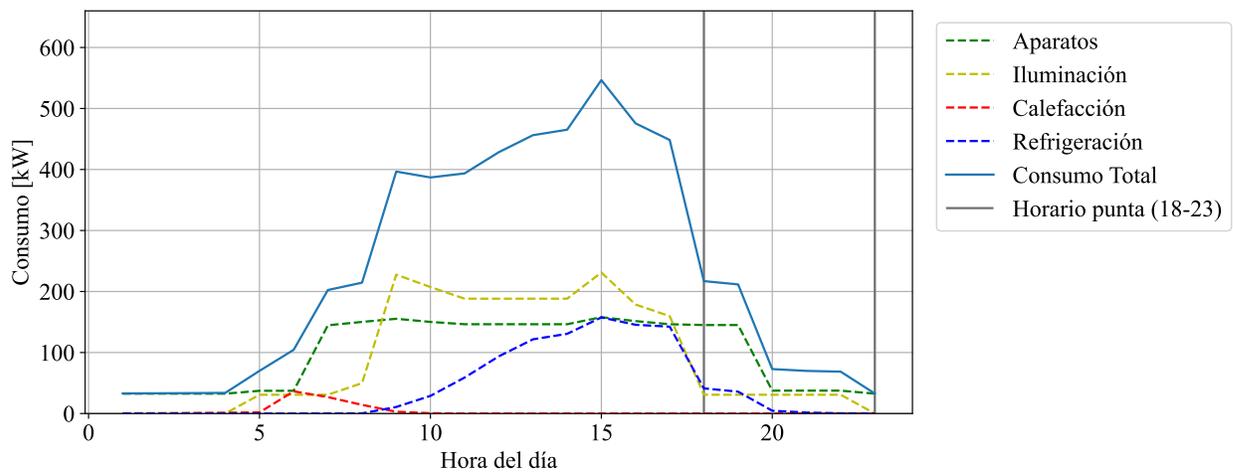


Figura A.1: Perfil de consumo por ítem para Enero.

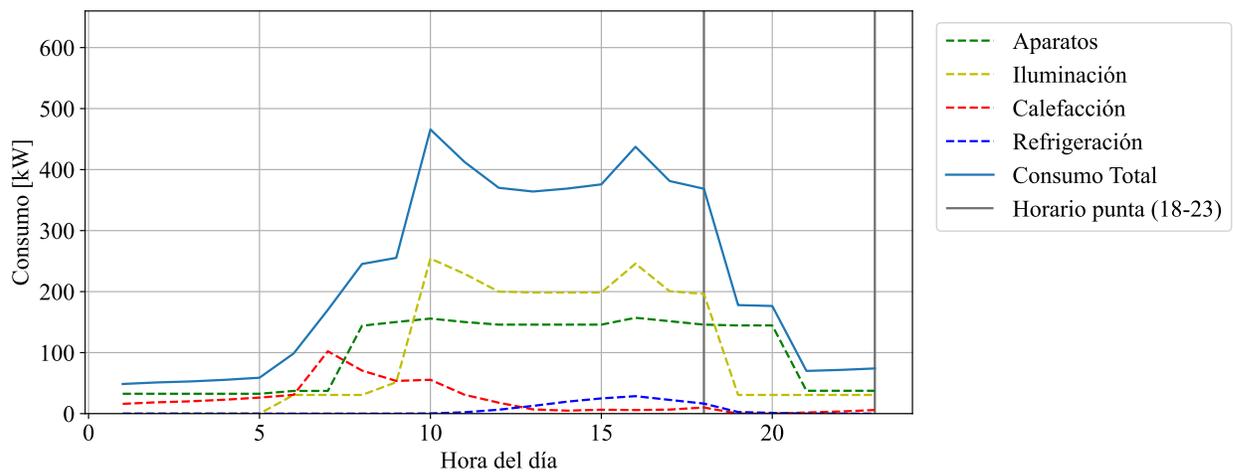


Figura A.2: Perfil de consumo por ítem para Abril.

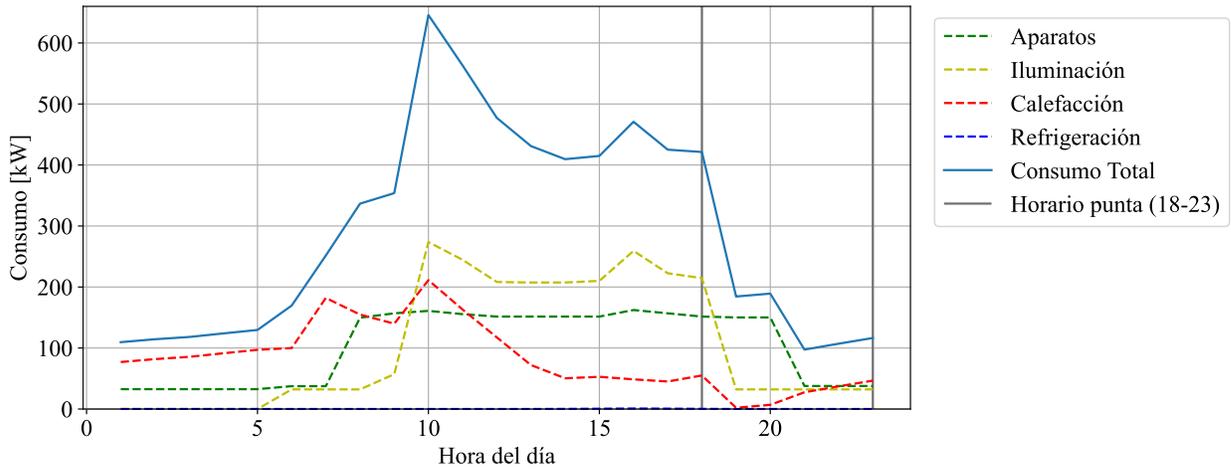


Figura A.3: Perfil de consumo por ítem para Julio.

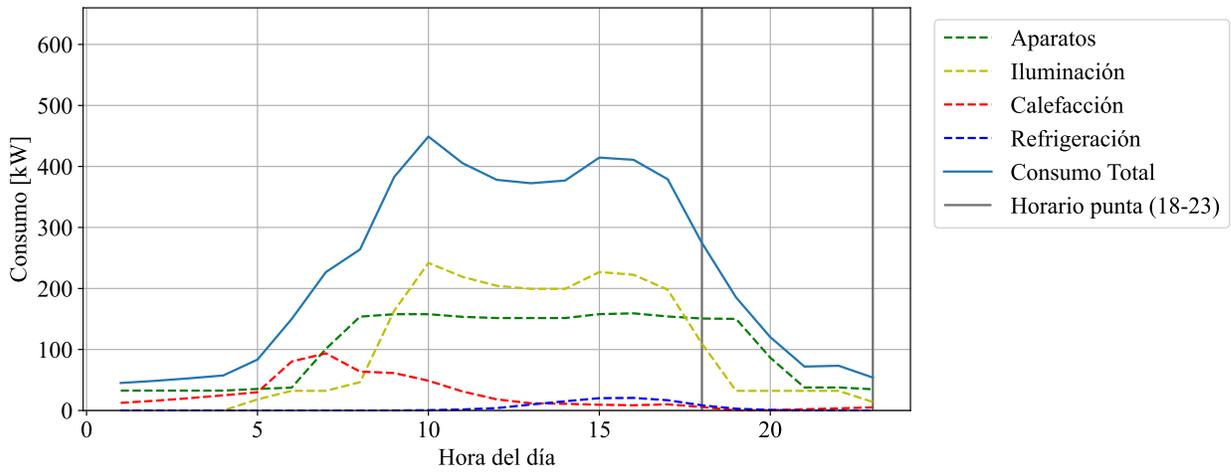


Figura A.4: Perfil de consumo por ítem para Octubre.

A.2. Análisis de sensibilidad

A.2.1. Tasa de infiltración de aire

Se grafican los perfiles de consumo por ítem para cada tasa de infiltración para los meses representativos en las Figuras A.5, A.6, A.7 y A.8.

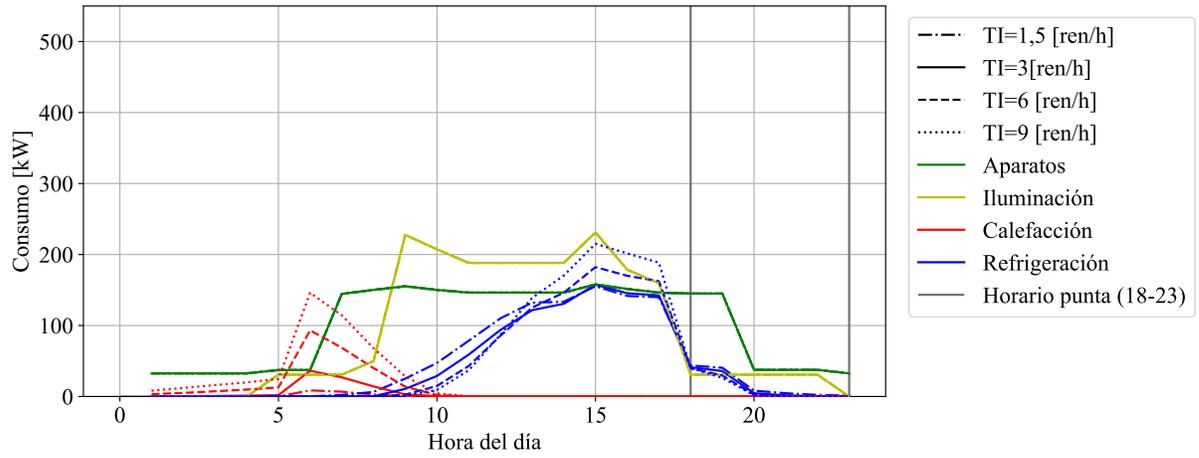


Figura A.5: Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Enero).

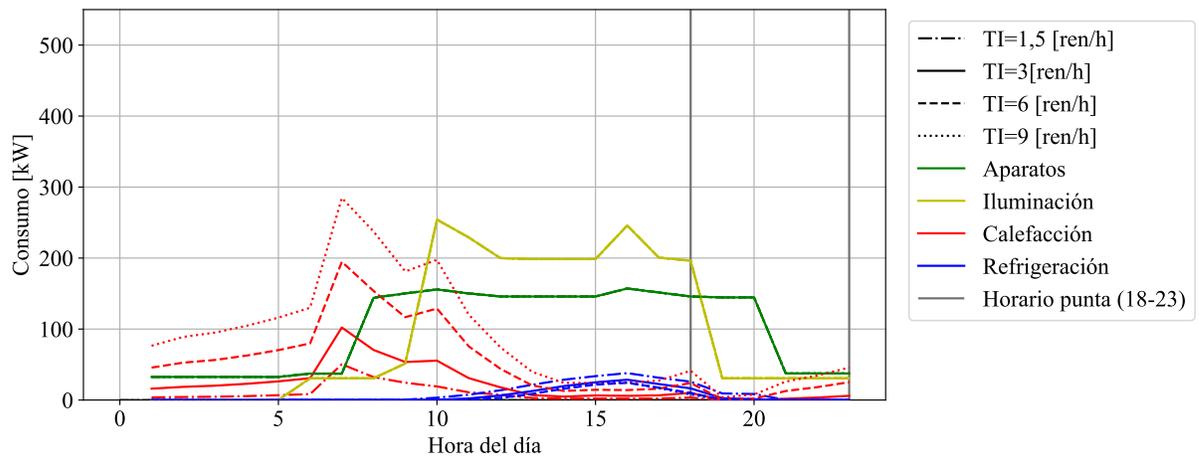


Figura A.6: Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Abril).

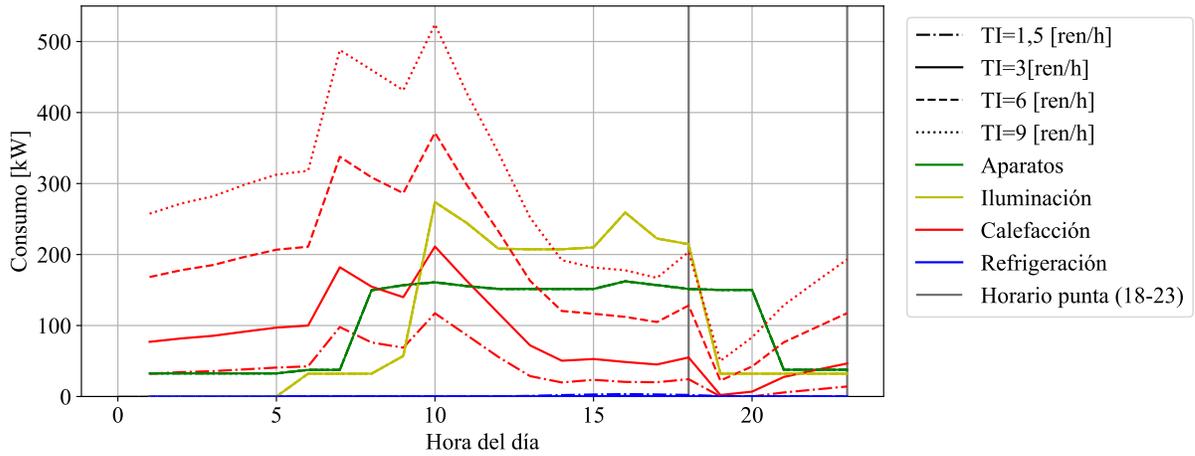


Figura A.7: Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Julio).

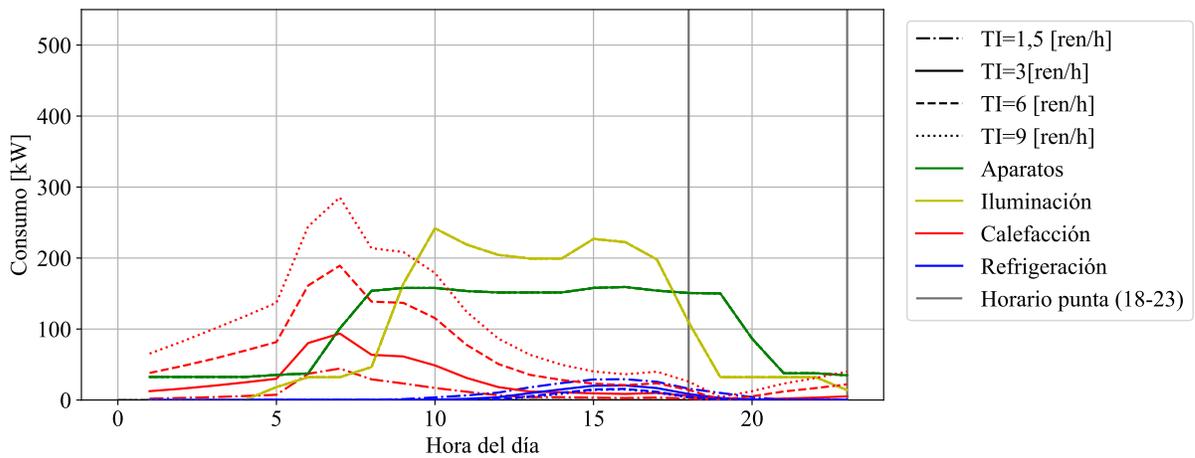


Figura A.8: Variación del perfil de consumo por ítem para distintas tasas de infiltración (Octubre).

A.2.2. Porcentaje de HVAC

En las Figuras A.9, A.10, A.11 y A.12 se muestra cómo varía el consumo por ítem al variar el porcentaje de superficie climatizada con aire acondicionado tipo split. Se realiza un gráfico para cada mes donde están contenidas los 3 porcentajes estudiados.

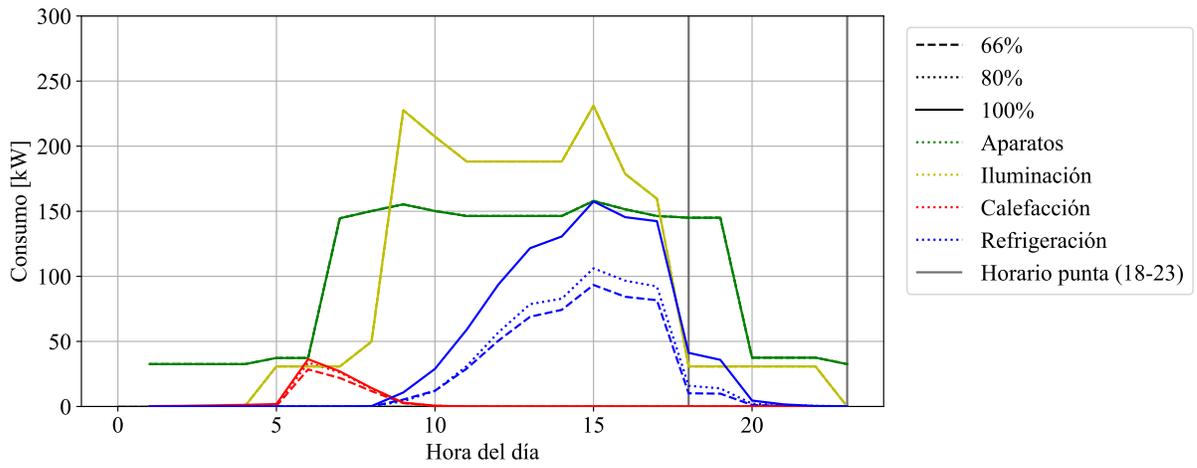


Figura A.9: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Enero).

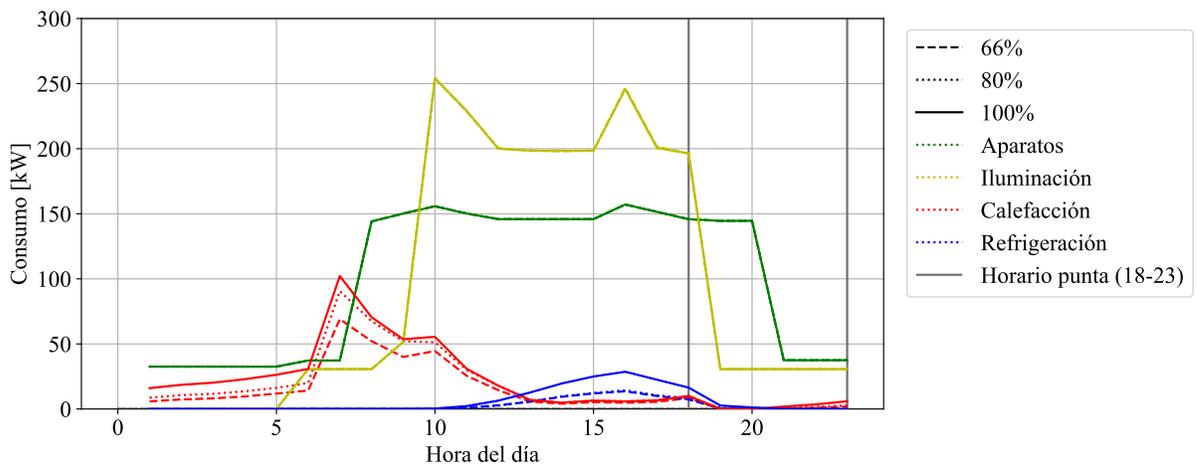


Figura A.10: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Abril).

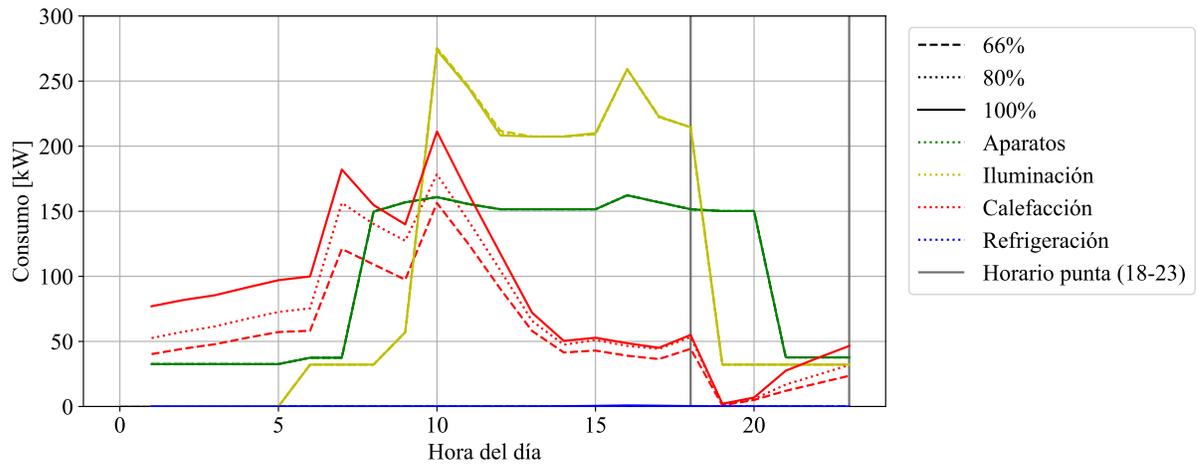


Figura A.11: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Julio).

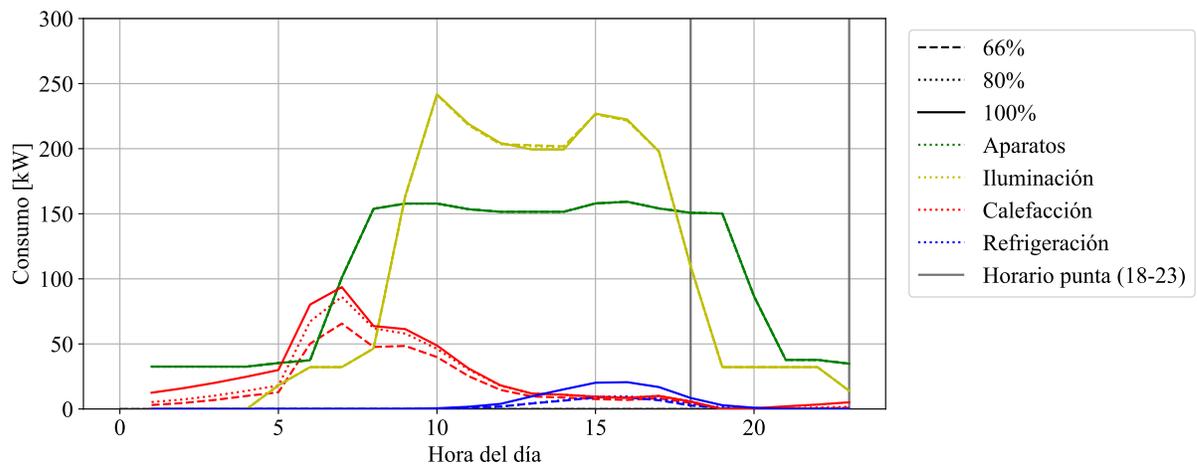


Figura A.12: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos porcentajes de zonas con HVAC (Octubre).

A.2.3. Horarios de ocupación

En las Figuras A.13, A.14, A.15 y A.16 se muestra cómo varía el consumo por ítem al variar el horario de ocupación. Se realiza un gráfico para cada mes donde están contenidas los 3 horarios de ocupación estudiados.

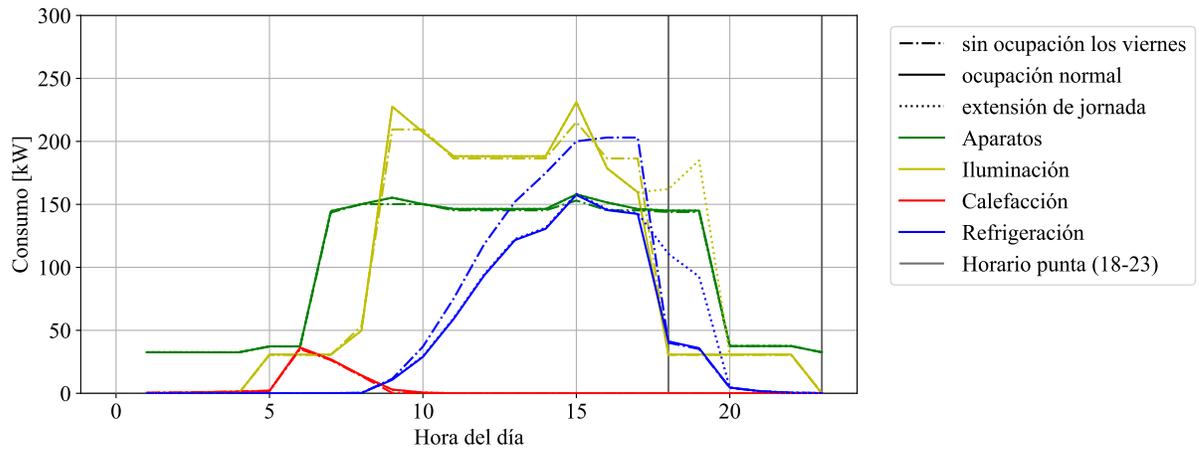


Figura A.13: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Enero).

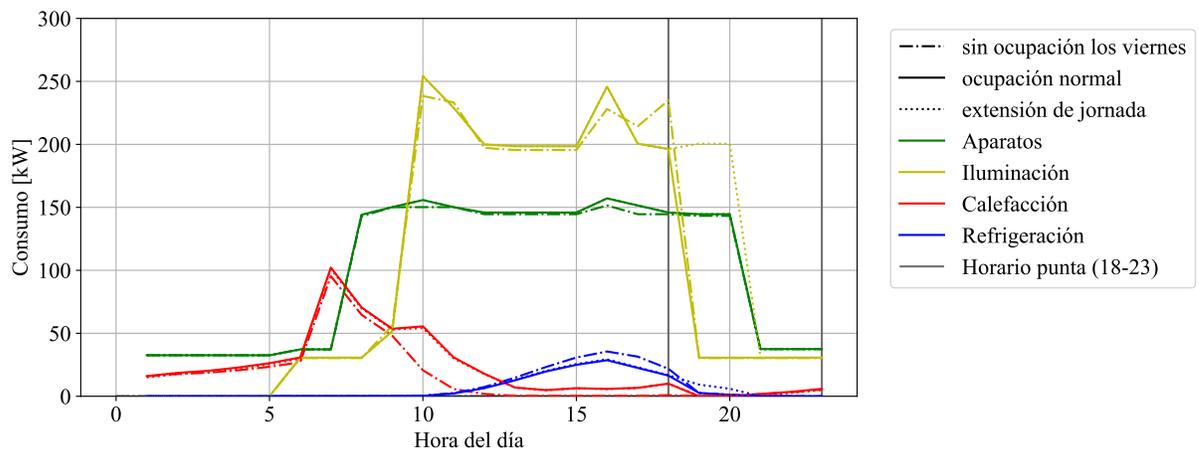


Figura A.14: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Abril).

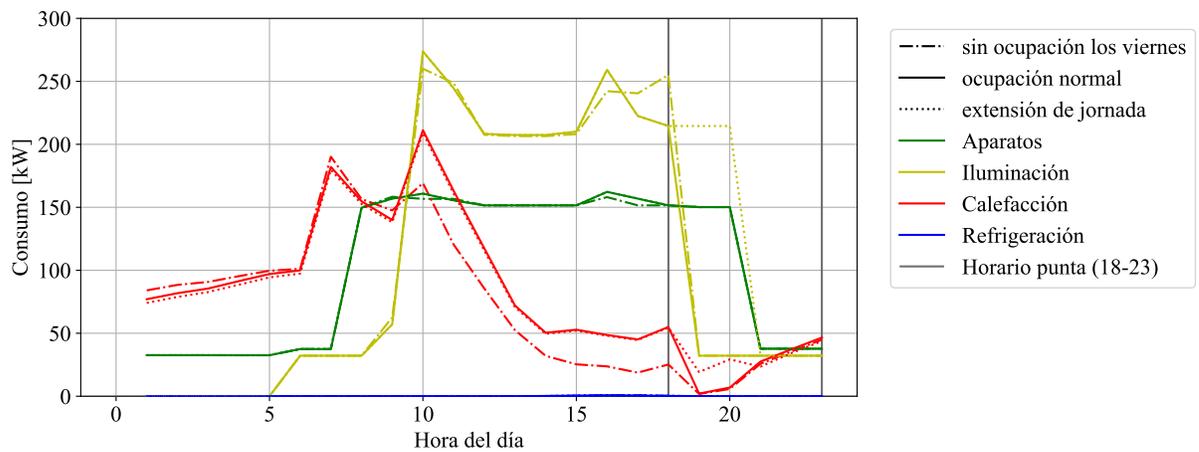


Figura A.15: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Julio).

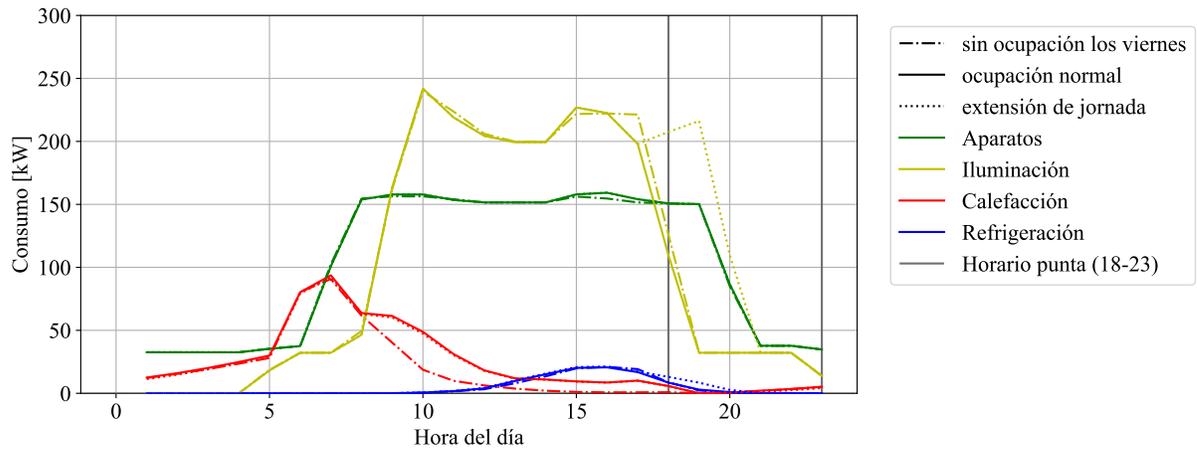


Figura A.16: Variación del perfil de consumo por ítem para distintos horarios de ocupación (Octubre).

Anexo B. Gráficos de temperatura

B.1. Temperaturas a lo largo del día en Enero, Abril, Julio y Octubre

En la Figura B.1 se muestran las temperaturas externas de bulbo seco promedio calculado como en la Figura 4.8.

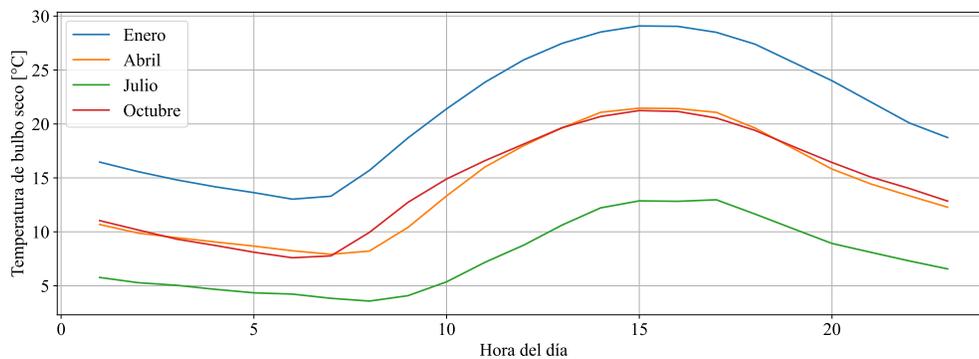


Figura B.1: Datos de temperatura promedio por hora durante meses de Enero, Abril, Julio y Octubre 2018.

B.2. Temperaturas interiores del edificio sin HVAC variando infiltración de aire

En la Figura B.2 se grafica la temperatura promedio de cada mes variando la infiltración en el caso de que no exista un sistema de climatización.

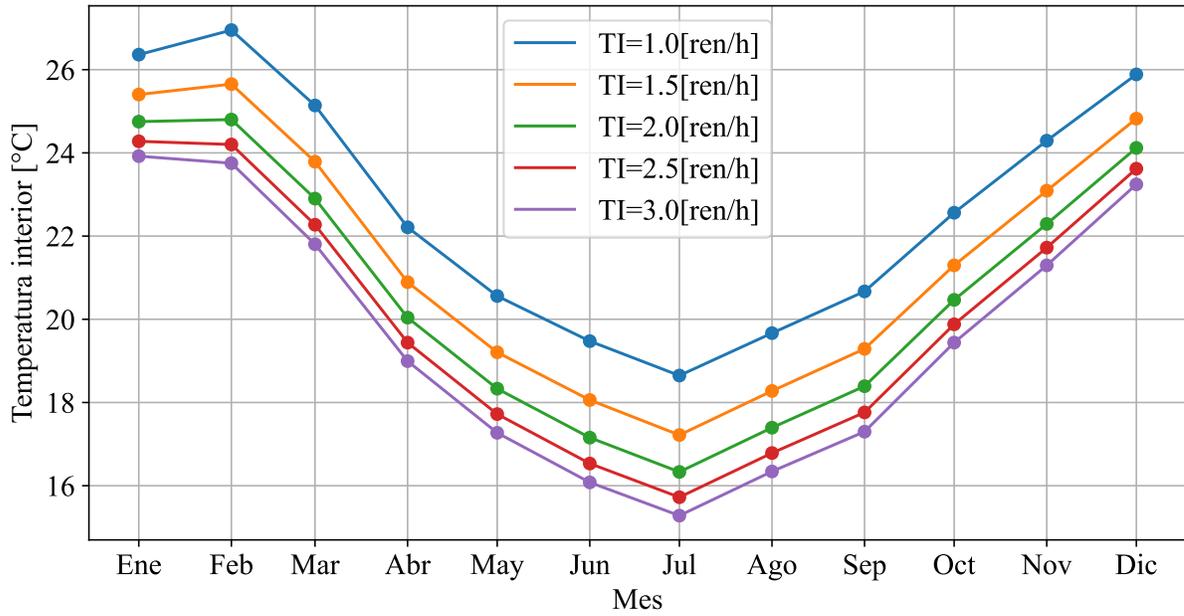


Figura B.2: Temperatura interior promedio mensual del edificio sin HVAC variando la tasa de infiltración de aire.

Anexo C. Proyecto de Norma Mexicana para alumbrado

Algunos de los valores de densidad de potencia de iluminación dados por un proyecto de norma Mexicana para alumbrado [11] se muestran en la Tabla C.1.

Tabla C.1: Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA).

Tipo de edificio	DPEA [W/m^2]
Oficinas	
Oficinas	12
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	14
Bibliotecas	15
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	15
Hospitales	
Hospitales, sanatorios y clínicas	14
Hoteles	
Hoteles	12
Moteles	14
Restaurantes	
Bares	14
Cafeterías y venta de comida rápida	15
Restaurantes	14
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	10
Recreación y Cultura	
Salas de cine	12
Teatros	15
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	14
Museos	14
Templos	14
Talleres de servicios	
Talleres de servicio para automóviles	11
Talleres	15
Carga y pasaje	
Centrales y terminales de transporte de carga	10
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	13

Anexo D. Horas de disconfort anuales por zona

En las Figuras D.1, D.2, D.3 y D.4 se muestran las horas de disconfort anuales por zona de los distintos pisos de la zona.

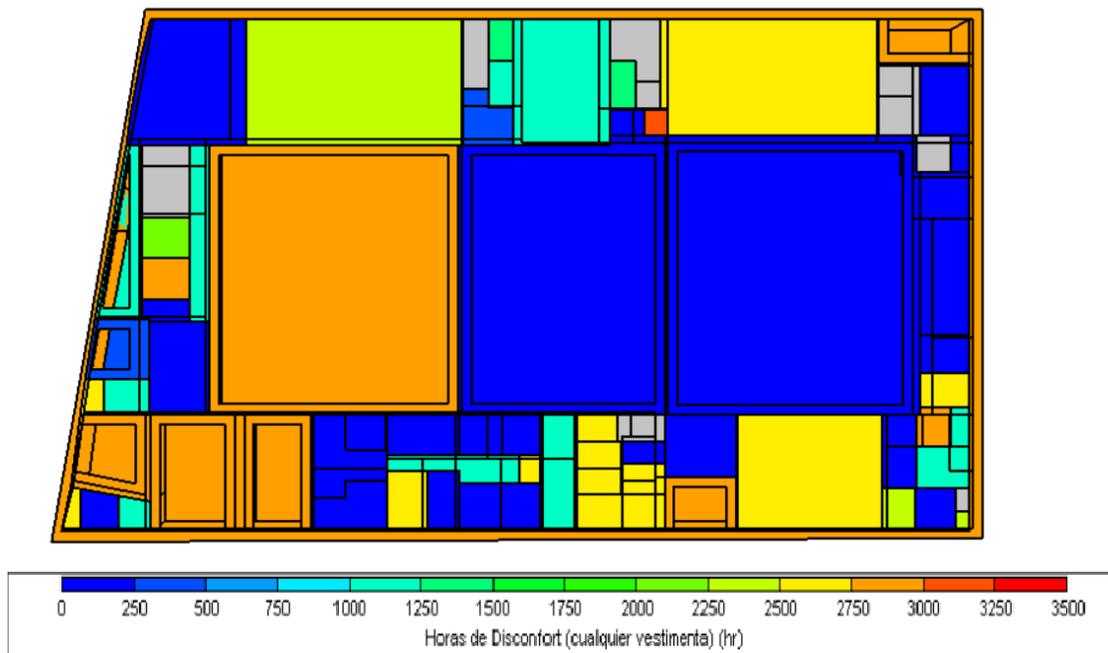


Figura D.1: Horas de disconfort por zona para Piso 1.

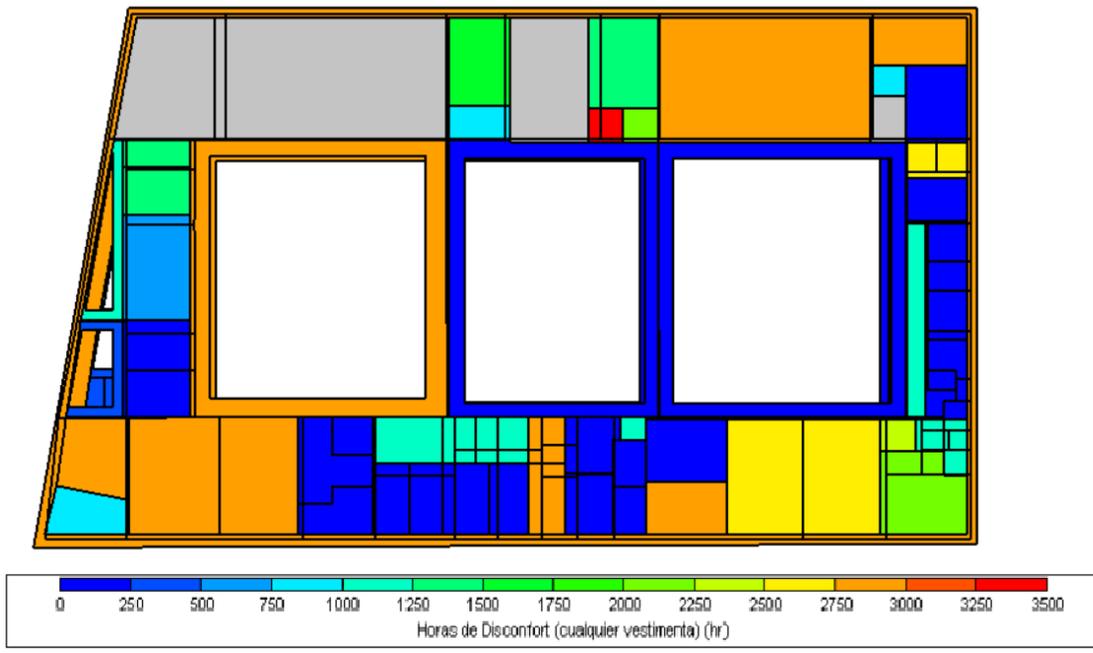


Figura D.2: Horas de disconfort por zona para Entrepiso 1.

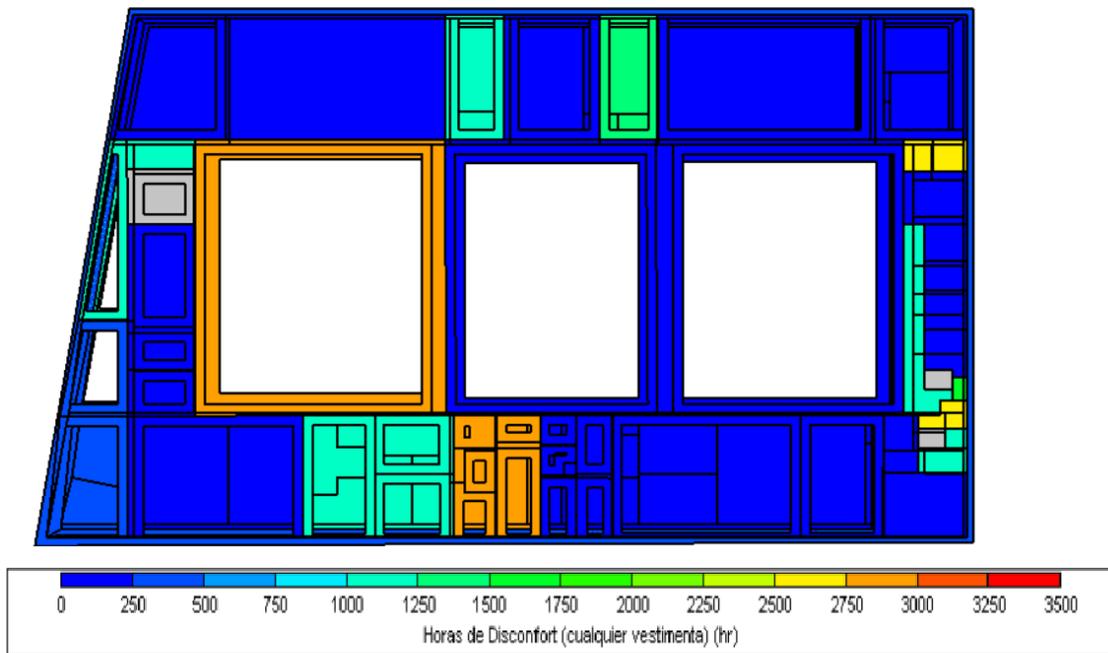


Figura D.3: Horas de disconfort por zona para Piso 2.

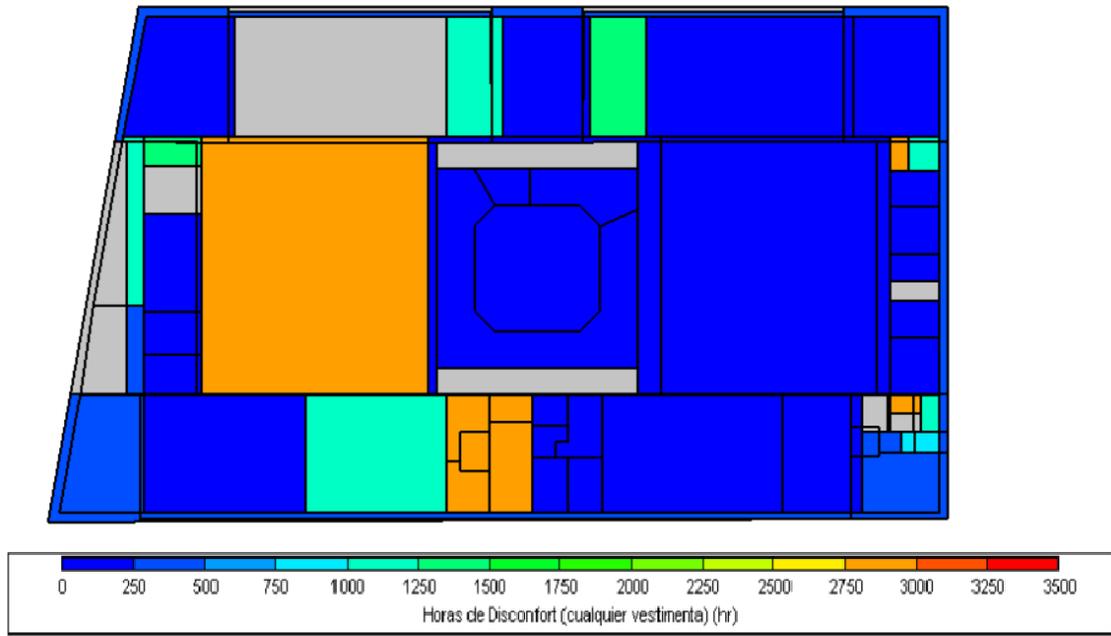


Figura D.4: Horas de desconfort por zona para Entrepiso 2.